

# **Estudo comparativo entre os consumos energéticos de uma instalação de refrigeração convencional e uma instalação de refrigeração verde**

*Carla Aurora Martins Fernandes Neves*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Clito Afonso



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

setembro 2015

*Ao meu Pai*

## Resumo

A dissertação apresentada resulta do trabalho realizado na área de Projetos de Refrigeração Comercial durante os últimos 15 anos da minha atividade profissional.

O desenvolvimento económico do nosso país fez com que a atividade grossista evoluísse e a exigência, cada vez maior dos consumidores, obrigam as grandes cadeias a repensar e otimizar as suas cadeias de frio.

Assim, os projetos de refrigeração foram evoluindo ao longo dos tempos tendo em conta os consumos energéticos, os fluidos frigorígenos utilizados e os equipamentos.

Nesta dissertação apresenta-se um estudo e dimensionamento de uma instalação de refrigeração do tipo comercial, instalação pioneira em Portugal no que diz respeito ao cuidado com o ambiente. Trata-se da primeira instalação “verde”.

Apresenta-se também o dimensionamento da mesma instalação de refrigeração comercial, mas utilizando a filosofia convencional atualmente em prática em Portugal.

Por motivos de confidencialidade não será identificada a loja onde este projeto está implementado e foram introduzidas algumas alterações a nível de consumidores de frio e desenho de *layout* da loja para diferenciação com o projeto original.

Por fim é feita uma análise comparativa deste projeto, totalmente verde, com o mesmo projeto numa versão *Standard* ou convencional.

O resultado final deste estudo comparativo comprova a evolução dos processos e a redução dos consumos energéticos e respetiva pegada ecológica quando se utilizam filosofias verdes.

Palavras-chave: Refrigeração, Instalação Verde, Instalação Convencional, Eficiência Energética



## Abstract

The present dissertation results from the work done in the area of Commercial Refrigeration Projects during the last 15 years of my professional activity.

The economic development of our country made wholesale activity evolve and the increasing of consumers' demands forced the large chains to rethink and optimize their cold chains.

For this reason, refrigeration projects have developed over time taking into account the energetic consumptions, used refrigerants and equipments.

In this dissertation it is presented the study and design of a commercial type refrigeration installation, a pioneering installation in Portugal regarding environmental care. This is the first green installation built in the country

It is also presented the design of the same installation of commercial refrigeration, but using the conventional philosophy currently in practice in Portugal.

For confidentiality reasons it will not be identified the store where this project is implemented and some changes were introduced at the level of the consumers of cold and layout design of the store to differentiate from the original design.

Finally, a comparative analysis of this totally green project is performed with the same project in a *Standard* or conventional version.

The final result of this comparative study proves the development of the processes and the reduction of energetic consumptions and respective environmental footprint when using green philosophies.

Key-Words: Refrigeration, green installation, conventional installation, energy efficiency.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, à Sistavac S.A., (Antiga SELFRIO, Engenharia do Frio S.A), por todo o percurso profissional que fiz e por todas as oportunidades que me deu.

Ao Professor Clito Afonso, meu orientador da FEUP, pelos conhecimentos transmitidos e por todos os bons conselhos úteis à elaboração da dissertação.

A toda a equipa do Gabinete de Projetos da Sistavac, que ao longo dos 15 anos de trabalhos me apoiou e que comigo colaborou em todos os projetos desenvolvidos dentro do gabinete e executados em obra.

Ao Engº Infante Milheiro, uma fonte de inspiração ao longo de todo o percurso profissional.

Ao Fernando Pereira e João Dias por toda a ajuda e tempo dispensado.

A todas as pessoas da empresa, que de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste projeto.

Ao Diogo Barros e Sandra Reis por todo o apoio e ajuda na realização desta dissertação.

À minha família, a minha maior inspiração.





## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	9
1.1	Apresentação da SISTAVAC S.A .....	9
1.2	Organização e temas abordados no presente relatório .....	10
2	Revisão teórica.....	11
2.1	Enquadramento histórico .....	11
2.2	Fluidos refrigerantes .....	12
2.2.1	Refrigerantes sintéticos.....	13
2.2.2	Refrigerantes naturais .....	14
2.3	Componentes de uma instalação de refrigeração .....	15
2.3.1	Compressores .....	15
2.3.2	Evaporadores .....	16
2.3.3	Condensadores.....	18
2.3.4	Dispositivos de expansão .....	21
2.4	Eficiência energética .....	22
2.4.1	O consumo de energia em Portugal.....	23
2.4.2	Impacto das aplicações de refrigeração sobre o aquecimento global .....	24
2.4.3	Eficiência energética de um sistema de refrigeração.....	26
3	Aplicações da refrigeração.....	27
3.1	Refrigeração doméstica.....	27
3.2	Refrigeração comercial .....	27
3.3	Refrigeração industrial.....	27
3.4	Refrigeração marítima e de transportes .....	27
4	Dimensionamento de uma instalação de refrigeração comercial considerada verde.....	29
4.1	Definição de instalação “verde”.....	29
4.2	Características da loja (superfície comercial) .....	29
4.3	Sistemas de refrigeração a usar .....	30
4.4	Isolamento térmico das câmaras frigoríficas e salas de trabalho .....	33
4.5	Considerações ou melhorias introduzidas para que seja um projeto verde.....	34
4.5.1	Portas e tampas de alta eficiência energética.....	35
4.5.2	Fecho posterior .....	36
4.5.3	Iluminação LED .....	36
4.5.4	Ventiladores de alta eficiência.....	37
4.5.5	Controlo de centrais frigoríficas e condensadores.....	37
4.6	Balanço térmico .....	39
4.6.1	Balanço térmico - câmaras frigoríficas.....	39
4.6.2	Balanço térmico - expositores frigoríficos .....	41
4.6.3	Balanço térmico – máquina de gelo .....	45
4.6.4	Balanço térmico – resumo final.....	46
4.7	Dimensionamento dos equipamentos .....	47
4.7.1	Centrais frigoríficas .....	47
4.7.2	Condensadores.....	50
4.7.3	Condensador para o circuito de congelados ou negativos .....	50
4.7.4	Condensador para o circuito de refrigerados ou positivos .....	51
4.7.5	Circuitos de bombagem .....	52
4.7.6	Circuito de bombagem de condensação e <i>dry-coolers</i> .....	52

4.7.7	Circuito de bombagem para o arrefecimento de MEG.....	54
4.7.8	Evaporadores .....	56
4.7.9	Equipamentos de segurança na casa de máquinas.....	57
5	Dimensionamento de uma instalação de refrigeração comercial convencional .....	59
5.1	Definição de instalação “convencional” .....	59
5.2	Características e dimensionamento da instalação convencional.....	59
6	Comparação entre consumos das centrais frigoríficas da instalação verde e da instalação convencional .....	63
7	Análise ao projeto com a utilização de painéis VIP .....	67
8	Conclusão e trabalhos futuros.....	71
9	Referências.....	73
ANEXO A .....		75
ANEXO B .....		77
ANEXO C .....		79
ANEXO D .....		81
ANEXO E.....		83
ANEXO F.....		85
ANEXO G .....		87
ANEXO H .....		89

## **Siglas**

AVAC Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CFC Clorofluorcarboneto

COP Coeficiente de performance

GEE Gases de efeito de estufa

GWP *Global Warming Potential* (Potencial de aquecimento global)

HC Hidrocarboneto

HCFC Hidroclorofluorcarboneto

HFC Hidrofluorcarboneto

LED *light-emitting diode*

MEG Monoetileno de Glicol

ODP *Ozone Depletion Potential* (Potencial de degradação da camada de ozono)

ONG Organização não-governamental

PU espuma rígida de poliuretano injetada

tep Toneladas equivalentes de petróleo

TEWI *Total Equivalent of Warming Impact*

URE Utilização racional da energia

VIP *Vacuum Insulated Panel*.



## Lista de figuras

Figura 1 - Evolução dos fluidos frigorigénios ao longo dos anos (Bitzer 2013).....	12
Figura 2 - Esquema de princípio e ciclo teórico de um ciclo de refrigeração .....	15
Figura 3 - Representação do ciclo de Carnot.....	16
Figura 4 - Evaporador do tipo circular habitualmente instalado em salas de trabalho.....	17
Figura 5 - Evaporador do tipo duplo fluxo .....	17
Figura 6 - Evaporador do tipo cúbico .....	18
Figura 7 - Evaporador do tipo estático .....	18
Figura 8 - Estados do fluído na passagem pelo condensador .....	19
Figura 9 - Condensadores a ar em "V" .....	20
Figura 10 - Condensador evaporativo .....	20
Figura 11 - Condensador tubular a água.....	21
Figura 12 - Consumo de energia primária (ADENE & DGEG, 2010).....	23
Figura 13 - Constituição do hipermercado .....	30
Figura 14 - Repartição dos custos de energia de um supermercado (medições internas Sistavac ).....	34
Figura 15 - Distribuição do consumo de energia de refrigeração para um supermercado (medições internas Sistavac ) .....	35
Figura 16 – Evolução dos expositores frigoríficos.....	35
Figura 17 - Aplicação de fecho traseiro deslizante em vitrines de atendimento .....	36
Figura 18 - Controlo de Centrais Frigoríficas – Três principais fatores a controlar com impacto no consumo energético. ....	37
Figura 19 - Variação da pressão de aspiração versus consumo de energia. ....	38
Figura 20 - Variação da pressão de condensação versus consumo de energia.....	39
Figura 21 - Fotografia representativa das duas máquinas de gelo atrás referidas .....	46
Figura 22 - Fotografia da central de congelados descrita.....	49
Figura 23 - Fotografia da central de refrigerados descrita.....	50
Figura 24 - Diagrama de princípio da central de congelados .....	50
Figura 25 - Fotografia do condensador descrito para a central de congelados.....	51
Figura 26 - Fotografia do condensador descrito para a central de refrigerados .....	52
Figura 27 - Foto dos <i>dry-coolers</i> colocados no exterior.....	53
Figura 28 - Fotografia da central de bombagem de condensação .....	54
Figura 29 - Esquema de princípio do circuito de condensação .....	54
Figura 30 - Esquema de princípio do circuito de glicol frio.....	55
Figura 31 - Fotografia da central de bombagem de glicol frio .....	56
Figura 32 - VIP ( <i>Vacuum Insulated Panel</i> ) .....	68
Figura 33 - Comparação de espessuras e isolantes.....	68

Figura 34 - Diagrama pressão – Entalpia para o CO <sub>2</sub> .....	75
Figura 35- Diagrama de Mollier para NH <sub>3</sub> (R717).....	77
Figura 36 - <i>Software</i> Bitzer – compressor 4FHC-5.....	79
Figura 37 - <i>Software</i> Bitzer – compressor OSKA 7472.....	81
Figura 38 - <i>Software</i> Bitzer – compressor 6FE – 44Y. ....	83
Figura 39 - <i>Software</i> Bitzer – compressor OSK 8591.....	85

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Principais características do CO <sub>2</sub> (R744) .....	31
Tabela 2 - Principais características do NH <sub>3</sub> (R717) .....	32
Tabela 3 - Características do NH <sub>3</sub> e do CO <sub>2</sub> .....	33
Tabela 4 - Comparação entre vários fluidos frigorigénios .....	33
Tabela 5 - Balanço térmico câmaras congelados.....	40
Tabela 6 - Balanço térmico câmaras refrigerados .....	40
Tabela 7 - Balanço térmico áreas climatizadas .....	41
Tabela 8 - Balanço térmico expositores congelados .....	42
Tabela 9 - Balanço térmico expositores refrigerados .....	43
Tabela 10 - Resumo do balanço térmico .....	46
Tabela 11 - Tabela resumo da potência frigorífica central de congelados .....	48
Tabela 12 - Tabela resumo das características dos compressores da central de congelados....	48
Tabela 13 - Resumo da potência frigorífica central de refrigerados .....	49
Tabela 14 - Tabela resumo das características dos compressores da central de refrigerados ..	49
Tabela 15 - Balanço térmico da instalação frigorífica convencional .....	60
Tabela 16 - Dimensionamento da central de congelados e refrigerados numa solução <i>standard</i> .....	60
Tabela 17 - Tabela comparativa de consumos entre centrais frigoríficas para a solução verde e para a solução convencional .....	64
Tabela 18 - Resumo dos consumos entre centrais frigoríficas para a instalação verde e a instalação convencional .....	64
Tabela 19 - Comparação de consumos energéticos e emissões de CO <sub>2</sub> entre as instalações frigoríficas em análise .....	65
Tabela 20 - Tabela de necessidades frigoríficas para o presente projeto utilizando painéis de poliuretano e painéis de vácuo .....	69
Tabela 21 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para câmaras de congelados .....	87
Tabela 22 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para câmaras de refrigerados.....	87
Tabela 23 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para áreas climatizadas...	88
Tabela 24 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para expositores frigoríficos de congelados .....	89
Tabela 25 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para expositores frigoríficos de refrigerados .....	90





## 1 Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido para a dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Trata-se de um estudo comparativo ao nível dos consumos frigoríficos e elétricos para uma instalação frigorífica verde versus uma instalação frigorífica convencional, acompanhado do dimensionamento dos principais componentes dessas mesmas instalações. O objetivo deste estudo é demonstrar que a utilização de soluções de dimensionamento estudadas em função de soluções energeticamente mais eficientes e amigas do ambiente têm como resultado final, instalações frigoríficas com um melhor desempenho.

A motivação para a apresentação deste projeto deve-se à constante pressão do mercado para que as empresas apresentem soluções inovadoras e mais amigas do ambiente. Além disso, a problemática do aquecimento global do planeta e as consequentes legislações estritas que têm surgido a nível mundial, impulsionam e motivam cada vez mais a investigação e o desenvolvimento de novas alternativas e soluções.

Estes factos proporcionaram a melhoria e otimização dos sistemas de refrigeração atuais, como se poderá constatar no final deste trabalho.

### 1.1 Apresentação da SISTAVAC S.A

Atendendo a que a minha carreira profissional se desenvolveu desde 1995 até aos dias de hoje na Sistavac, é imperativo que faça aqui uma apresentação da empresa onde foram por mim desenvolvidos muitos e muitos projetos na área da refrigeração comercial.

A Sistavac, S.A., pertencente ao grupo Sonae Capital e é atualmente o resultado da fusão de diferentes empresas com objetivos diversos, ainda que com uma notável complementaridade entre si.

A mais antiga destas empresas, foi fundada em 1985 com a designação de Selfrio – Engenharia do Frio, S.A., visando a prestação de serviços de assistência técnica e a conceção, fabrico e construção de instalações comerciais/industriais na área da refrigeração.

Mais tarde, em 1992, surge a introdução da área de AVAC, através da Sistavac, S.A., estando vocacionada para a conceção e construção integrada de instalações mecânicas, hidráulicas, elétricas e gestão técnica centralizada.

Em 1996 é fundada a SMP – Serviços de Manutenção e Planeamento, S.A. que tem como principal atividade a prestação de serviços de manutenção e assistência técnica nos setores industriais, comércio e serviços.

No decorrer do Exercício de 2011, procedeu-se à alteração das estruturas das participações, com a fusão de diversos negócios passando por concentrar numa empresa, através de um processo de fusão por absorção na Sistavac, a Selfrio e a SMP. Esta fusão está ligada a um

interesse estratégico de posicionar a nova sociedade Sistavac como empresa de referência no mercado nacional e, simultaneamente, dar-lhe dimensão para o mercado internacional, oferecendo uma ampla oferta de serviços de engenharia que passam pela refrigeração, pelo ar condicionado, pela manutenção e pela vigilância eletrónica.

Em 1998 a Sistavac iniciou o seu processo de internacionalização, estando atualmente presente no Brasil, Angola e Moçambique.

Nos dias de hoje, a empresa conta com 560 colaboradores, distribuídos pelas várias delegações (sistavac.pt, 2014)

## **1.2 Organização e temas abordados no presente relatório**

Para além do capítulo 1 - Introdução, esta dissertação contém mais 7 capítulos:

No capítulo 2, é realizada uma revisão teórica aos temas que residem na sua base, ou seja: o estudo sobre termodinâmica e sistemas de refrigeração, os fluidos utilizados, os componentes de uma instalação frigorífica e os conceitos de eficiência energética. Estes temas são fundamentais para uma melhor compreensão e análise do trabalho desenvolvido.

No capítulo 3, são descritas as principais aplicações da refrigeração em Portugal.

No capítulo 4, é apresentado o dimensionamento de um projeto de refrigeração verde.

No capítulo 5, é apresentado o dimensionamento de um projeto de refrigeração convencional para a mesma instalação central de consumidores de frio da instalação verde.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos a nível de consumos frigoríficos e consumos elétricos para estas duas soluções de instalações de refrigeração. É também apresentada a melhor solução para obter uma instalação frigorífica com melhor performance ao nível energético.

No capítulo 7 é apresentada uma tecnologia inovadora a nível de painéis isotérmicos com o uso dos painéis VIP.

Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 Revisão teórica

### 2.1 Enquadramento histórico

O uso da refrigeração representou um dos mais importantes avanços da civilização moderna. Nos últimos anos a indústria da refrigeração apresentou um progresso enorme e tornou-se numa indústria gigante que movimenta milhões. Esta rápida expansão pode ser explicada por diversos fatores, entre eles, o desenvolvimento da mecânica de precisão, dos processos de fabricação sofisticados e tecnologicamente evoluídos e o surgimento de compressores com motores elétricos de baixa potência e mais eficientes.

Cada vez mais, os sistemas de refrigeração têm sido utilizados tanto para proporcionar conforto como utilizados em processos industriais.

Hoje em dia são usados, principalmente, dois métodos na obtenção de baixas temperaturas, sendo eles, os sistemas frigoríficos (sistemas tradicionais de compressão mecânica) e a criogenia.

Em certos tipos de produtos é usada a salmoura, no entanto tem uma utilização bem mais restrita.

O processo que envolve baixas temperaturas é um dos mais importantes devido à sua larga escala de utilização a nível mundial. A utilização do frio, como forma de preservação, pode ser dividida em dois tipos:

- Refrigeração – É a ação de resfriar determinado ambiente de forma controlada, tanto para viabilizar processos, processar e conservar produtos (refrigeração comercial e industrial) ou efetuar climatização para conforto térmico. No âmbito desta dissertação foi considerado que o processo de refrigeração é o processo no qual se mantém a temperatura do produto acima do ponto de congelação da água.
- Congelação - Tem por objetivo conservar o produto abaixo da temperatura de congelação, de modo a preservar a sua integridade e qualidade, evitando alterações físico-químicas indesejáveis.

Mas no panorama energético, devido à grande quantidade de sistemas de refrigeração, quantidade essa que não para de aumentar, a refrigeração tem uma forte influência no consumo de energia.

Esta influência, associada à crise energética e económica, forçam a necessidade de evoluir e inovar, de forma a que os equipamentos e respetivas instalações fiquem mais económicos e mais eficientes.

## 2.2 Fluidos refrigerantes

Os fluidos refrigerantes podem ser divididos em 2 grupos:

- **Fluidos primários ou frigorigénios:** São fluidos de trabalho que evoluem ciclicamente dentro das máquinas de produção de frio, evaporando e condensando alternadamente, conforme absorvem e cedem calor. Exemplo destes fluidos são:  $\text{NH}_3$ , R404a, R134a, R22, R290, etc
- **Fluidos secundários ou fluidos frigoríficos ou fluidos refrigerantes secundários:** Fluidos calo-portadores entre o meio a arrefecer e o fluido frigorigénio, sendo um agente intermedio, que é inicialmente arrefecido no evaporador (por troca de calor com o fluido frigorigénio) e que posteriormente vai retirar calor do meio ou substância que se pretende arrefecer. Exemplo destes fluidos são: Água Glicolada, Salmoura, etc.

No início do século XX os refrigerantes mais comuns no mercado eram o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sendo os dois primeiros extremamente tóxicos. Derivado deste facto, as indústrias de refrigeração desenvolveram refrigerantes atóxicos, surgindo então os CFC's e os HCFC's (CEFET,2008). Depois da descoberta dos efeitos nefastos associados à utilização dos CFC's e HCFC's para com a camada de ozono (durante os anos 70), foi decretada a diminuição progressiva de utilização até à proibição destes em novos sistemas de refrigeração, durante o período mediado entre 1990 e 2010.

As alternativas químicas introduzidas pelos fabricantes deram origem aos refrigerantes do tipo HFC e às suas misturas (R134a, R507, R404A, R407C, R410A, etc.). No entanto, o efeito estufa e as restrições resultantes do uso de refrigerantes sintéticos fluorados, com elevado potencial de aquecimento global (em alguns casos superior aos valores dos CFC e HCFC que substituíram), levaram também à recente reavaliação de substâncias naturais, a fim de as usar como refrigerantes em sistemas de refrigeração de supermercados.

Na figura 1 pode-se ver o desenvolvimento e utilização dos diferentes fluidos frigorigénios ao longo dos anos.

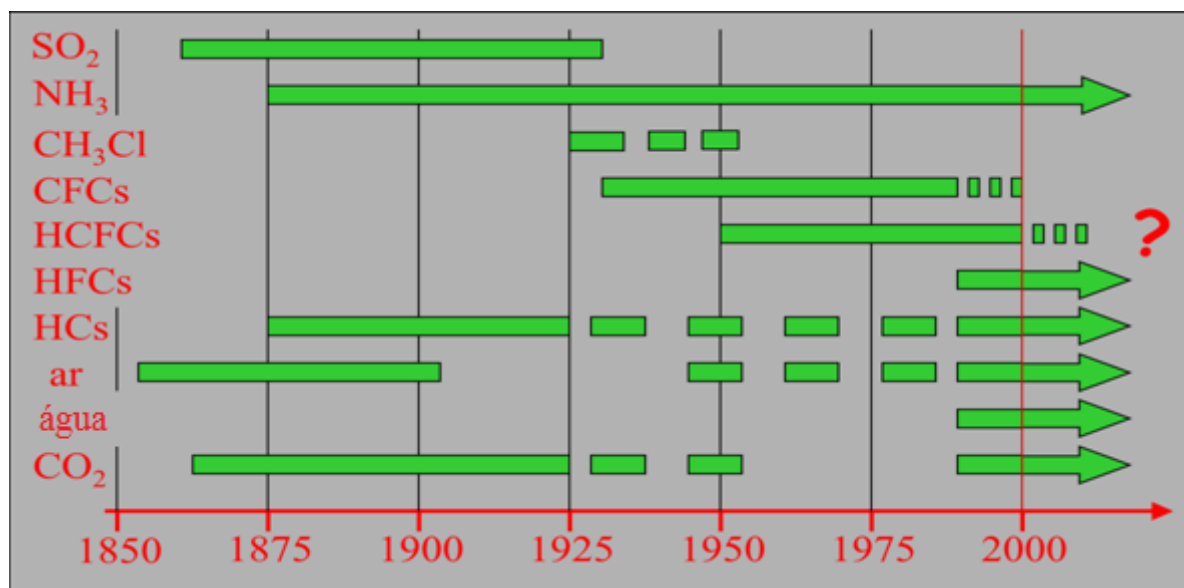


Figura 1 - Evolução dos fluidos frigorigénios ao longo dos anos (Bitzer 2013)

Não há um fluido frigorigénio que reúna todas as propriedades desejáveis, de modo que, um fluido frigorigénio considerado bom para ser aplicado em determinado tipo de instalação frigorífica nem sempre é recomendado para ser utilizado em outra. O bom fluido frigorigénio é aquele que reúne o maior número possível de boas qualidades, relativamente a um determinado fim.

As características a ter em consideração na hora da escolha de um refrigerante para um sistema de refrigeração são: (Rhiemeier, Harnisch, & Ters, 2009):

- Potencial de destruição da camada de ozono (*Ozone Depletion Potential*) nulo;
- Potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential*) reduzido;
- Alta eficiência energética - incluindo elevada capacidade de transferência de calor, reduzida viscosidade e elevada eficiência durante a compressão;
- Quimicamente estável, a fim de impedir a deterioração durante o fim de alta compressão;
- Não ter pressão de condensação muito alta nem uma pressão de evaporação muito baixa para as temperaturas de funcionamento pretendidas;
- Não inflamável, não tóxico e não corrosivo;
- Custo de aquisição reduzido;
- Compatíveis com os materiais do sistema de refrigeração;
- Elevado calor de evaporação em relação ao volume específico de sucção do compressor;
- Evaporar-se a pressões acima da atmosférica;
- Ponto de congelação inferior à temperatura de evaporação;
- Fácil deteção de fugas.

### 2.2.1 Refrigerantes sintéticos

Os refrigerantes sintéticos são produzidos a partir de substâncias químicas. Os tipos de refrigerantes incluídos nesta categoria são os CFC, HCFC e HFC (Barreras, 2004).

#### CFC

Denominam-se por clorofluorcarboneto, clorofluorocarboneto ou clorofluorcarbono (CFC). Grupo de compostos pertencente à função orgânica derivados halogenados, obtidos principalmente pela halogenação do metano. São derivados dos hidrocarbonetos saturados, obtidos mediante a substituição de átomos de hidrogénio por átomos de cloro e flúor. Possuem elevados níveis de ODP e de GWP.

Exemplos: R-11, R-12, R-502, etc..

**Utilização:** Ar condicionado automóvel, refrigeração comercial, refrigeração doméstica, etc. Os CFC's destroem a camada de ozono. A camada de ozono sendo danificada permite que raios ultravioleta (UV) do sol atinjam a superfície da Terra. As indústrias químicas cessaram a produção de CFC's e a importação destas substâncias virgens está controlada. Para converter ou substituir um equipamento a trabalhar com CFC foram criados dois tipos de refrigerantes alternativos: HCFC's e HFC's (Barreras, 2004).

## HCFC

Família de compostos químicos que possui os elementos hidrogénio, cloro, flúor e carbono na sua composição. Surgiram como alternativa aos CFC's.

Exemplos: R-22, R-141b, etc..

**Utilização:** ar condicionado, *splits*, câmaras frigoríficas, etc (Barreras, 2004).

## HFC

Os hidrofluorcarbonetos são uma família de compostos químicos que possuem elementos de hidrogénio, flúor e carbono na sua constituição.

Por não conterem cloro como os CFC's, não contribuem para a destruição da camada de ozono, no entanto, apresentam em alguns casos, um valor do potencial de aquecimento global superior ao dos CFC's e HCFC's.

Ex: R-134a, R-404A, R-407C, etc..

**Utilização:** ar condicionado automóvel, refrigeração comercial, refrigeração doméstica, etc.

### 2.2.2 Refrigerantes naturais

Os hidrocarbonetos, o amoníaco, o dióxido de carbono, a água e o ar, fazem parte de um grupo de substâncias chamado de “refrigerantes naturais”. Todos os refrigerantes naturais existem em ciclos materiais da natureza, mesmo sem interferência humana.

Evolução e inovações tecnológicas ajudaram a considerar os refrigerantes naturais como uma solução segura e económica para aplicações específicas. Sistemas de refrigeração com refrigerantes naturais poderão ter um papel cada vez mais importante no futuro (López, 2005).

## HC

Atualmente os hidrocarbonetos, gases naturais compostos unicamente por hidrogénio e carbono, têm sido apresentados como novas alternativas para a refrigeração.

## CO<sub>2</sub>

O CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono – R744) foi um dos primeiros refrigerantes a ser utilizado em sistemas de refrigeração, sendo amplamente utilizado até meados da década de 30. Com o surgimento dos fluidos CFC's e HCFC's, a utilização do CO<sub>2</sub> foi perdendo mercado até ser praticamente extinta no início dos anos 60. Com os problemas ambientais e o estabelecimento dos protocolos de Montreal e de Quioto, o CO<sub>2</sub> ressurge como uma alternativa promissora a ser utilizada em muitas aplicações, nos vários sectores de refrigeração (MMA, 2007).

## NH<sub>3</sub>

O amoníaco (NH<sub>3</sub>) é uma substância 100% natural, constituída por um átomo de azoto (N) e três de hidrogénio (H). O amoníaco tem um reduzido tempo de vida (menos de 14 dias), não interage com a camada de ozono (ODP=0) e não contribui para o aquecimento global (GWP=0) (MMA, 2007). O amoníaco apresenta excelentes características para o uso em sistemas de refrigeração, no entanto, tem restrições na sua aplicação decorrente do seu elevado índice de toxicidade.

## 2.3 Componentes de uma instalação de refrigeração

Há temperaturas diferentes envolvidas no funcionamento de uma instalação frigorífica, existe líquido subarrefecido, líquido saturado, vapor saturado e vapor sobreaquecido, existindo por outro lado duas pressões distintas: a pressão de evaporação e a pressão de condensação.

A instalação está ainda dividida no circuito de baixa pressão e no circuito de alta pressão.

Na figura 2 pode-se ver a representação de um esquema de princípio de um ciclo de refrigeração.

Para se analisar os fenómenos que se passam através do circuito, pode-se partir do ponto imediatamente antes da válvula de laminagem ou de expansão (ponto 3). Neste ponto, o fluido frigorífico está no estado líquido à pressão de condensação. Esta válvula tem como função proporcionar a redução da pressão do fluido refrigerante e controlar o fluxo de massa que entra no evaporador, mantendo um superaquecimento constante, independentemente das condições do sistema, evitando assim a entrada de líquido no compressor.

Esta queda de pressão do fluido é acompanhada simultaneamente de vaporização de parte do líquido e de uma diminuição de temperatura.

Obtém-se assim, à sua saída, uma mistura de líquido e vapor, que se encontra à pressão de evaporação e correspondente temperatura de evaporação, a qual entra no evaporador (ponto 4).

Por ação do calor, que é fornecido ao evaporador pelo meio exterior (ar, água salmoura) o líquido vaporiza-se mantendo a temperatura e pressão do fluido constantes durante a operação. O gás formado é aspirado pelo compressor (ponto 1) através da tubagem de aspiração e comprimido no cilindro até à pressão de condensação aumentando, consequentemente, a temperatura. Após esta compressão (ponto 2) o gás (vapor sobreaquecido) é descarregado através da tubagem de descarga para o condensador, onde se processa a sua passagem de vapor a líquido. Nesta mudança de estado verifica-se também que a pressão e temperatura mantêm-se constantes e o calor que se liberta durante esta transformação (calor sensível e calor latente) é absorvido pelo fluido arrefecedor (ar ou água).

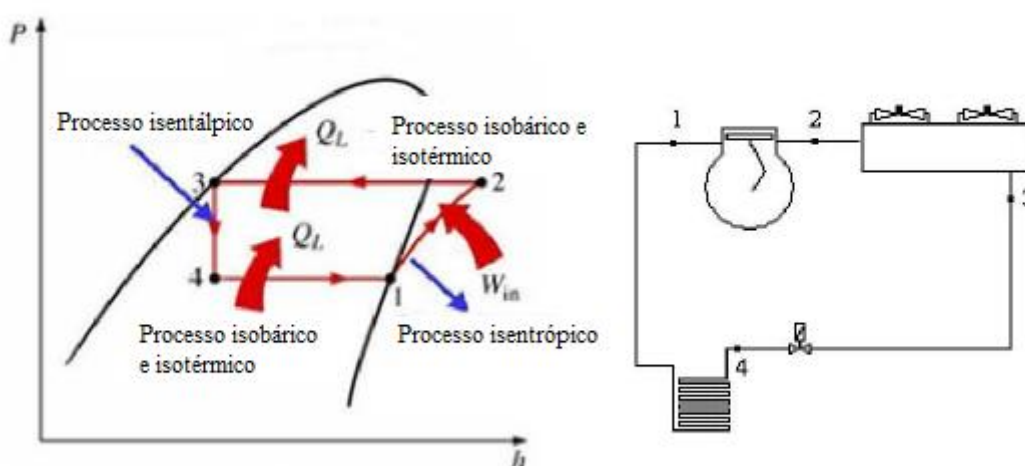


Figura 2 - Esquema de princípio e ciclo teórico de um ciclo de refrigeração

### 2.3.1 Compressores

O compressor é a parte de maior importância de uma instalação frigorífica. É o componente mecanicamente mais complexo de um sistema de refrigeração. Tem a função de fornecer um diferencial de pressão, de forma a que o fluido refrigerante possa evaporar a uma temperatura

inferior á temperatura de condensação e assim retirar calor de uma fonte fria e rejeitar esse calor para uma fonte quente. Na maioria das instalações frigoríficas, o compressor é o componente que mais consome energia, influenciando significativamente o custo operacional da instalação. As duas grandezas mais importantes para a caracterização do seu desempenho são a capacidade de refrigeração e a potência de compressão.

Na figura 3 representa-se o ciclo de Carnot num diagrama Pressão- Entalpia, onde está representada a compressão isentrópica (1-2).

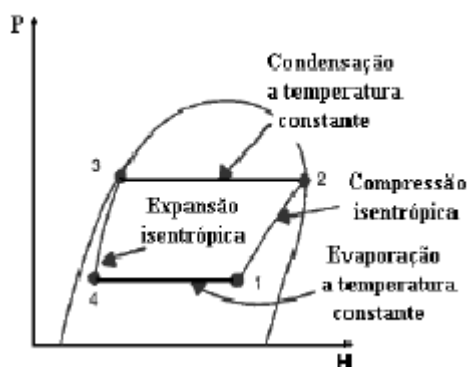


Figura 3 - Representação do ciclo de Carnot

A capacidade de refrigeração é determinada pelo produto do caudal mássico com o efeito de refrigeração (efeito frigorífico). O efeito de refrigeração consiste na variação da entalpia do refrigerante quando passa pelo evaporador. A expressão do seu cálculo é visível na equação 2.1

$$C_{Ref} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (2.1)$$

Onde:

$C_{Ref}$ , é a capacidade de refrigeração;

$\dot{m}$ , é o caudal mássico;

$h_i$ , é a entalpia do refrigerante no estado i.

A potência de compressão é igual ao produto do caudal mássico pelo trabalho isentrópico de compressão.

Em refrigeração utilizam-se basicamente dois tipos de compressores: alternativos e parafuso, que podem ser do tipo **hermeticamente fechados**, **semi-herméticos** ou **abertos**.

### 2.3.2 Evaporadores

A função do evaporador é absorver calor do meio a arrefecer, ou seja, é a fonte produtora de frio, objetivo final e principal da instalação frigorífica. No interior do evaporador circula um meio frio – o fluido frigorígeno - e no exterior do evaporador está um meio quente - o meio a arrefecer. Produzir-se-á uma transferência de calor do meio quente para o meio frio, pelo que, é muito importante obter um bom coeficiente global de transmissão térmica.

É no evaporador que se realiza a passagem a vapor do fluido frigorígeno, inicialmente líquido, absorvendo calor latente do meio exterior. Através do evaporador passa uma mistura heterogénea de líquido e vapor, tanto mais rica em vapor quanto mais afastada estiver do ponto de expansão.



A transmissão do calor dá-se por:

- Convecção do fluido até à superfície interna do tubo da serpentina;
- Condução através da parede metálica do tubo;
- Convecção da superfície exterior até ao meio a arrefecer.

Sempre que se esteja a calcular um evaporador deve-se ter em atenção os seguintes fatores:

- Necessidade frigorífica do espaço a arrefecer;
- Temperatura interior do espaço;
- Tipo de produto a arrefecer;
- Temperatura de evaporação;
- Coeficiente relativo ao DT (temperatura de entrada - temperatura de saída do ar que passa pelo evaporador);
- Humidade dentro do espaço;
- Espaçamento de alheta no evaporador;
- Tipo de descongelação;
- Outros fatores que o fabricante do evaporador faça referência.

Existem vários tipos de evaporadores. As fotos a seguir apresentadas ilustram aplicações práticas de diferentes evaporadores.



Figura 4 - Evaporador do tipo circular habitualmente instalado em salas de trabalho



Figura 5 - Evaporador do tipo duplo fluxo



Figura 6 - Evaporador do tipo cúbico



Figura 7 - Evaporador do tipo estático

### 2.3.3 Condensadores

Os condensadores das instalações frigoríficas são permutadores de calor que permitem ceder a um meio de arrefecimento (ar ou água) a quantidade de calor absorvido durante o ciclo frigorífico. Por conseguinte, é fundamental que este equipamento possua um bom coeficiente global de transmissão térmica a fim de que na passagem do fluxo de calor do fluido frigorífico ao meio exterior se faça com um diferencial de temperatura o mais pequena possível.

No condensador podemos distinguir 3 zonas, conforme representado na figura 8, no que diz respeito aos fenómenos físicos relativos aos estados do fluido desde a entrada até á saída do condensador:

- 1 - A fase de arrefecimento c1: Os gases quentes saídos do compressor arrefecem até ao início da condensação (calor sensível);
- 2 - A fase de condensação c2: Os gases passam ao estado líquido a uma temperatura e pressão constantes (calor latente);
- 3 - A fase de sub-arrefecimento c3: Realiza-se o sub-arrefecimento do líquido (calor sensível).

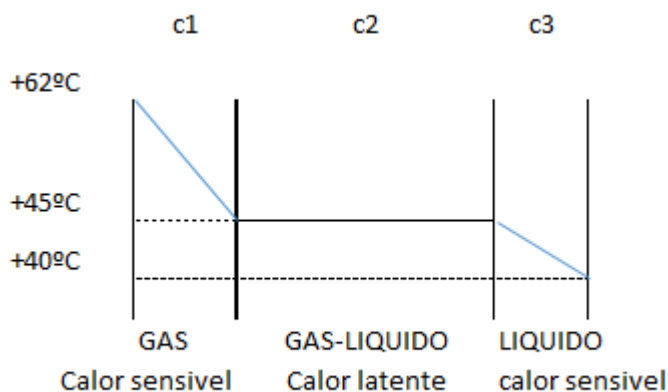


Figura 8 - Estados do fluido na passagem pelo condensador

Sendo o condensador um só elemento, esta separação por zonas é um exercício de conceção pura que permite examinar o processo de alteração térmica para os diferentes estados físicos do fluido entre este e o meio de condensação (ar ou água).

Na prática a transmissão do calor do fluido frigorigénio para o meio a arrefecer dá-se por:

- Convecção entre o fluido e as paredes internas do tubo;
- Condução através das paredes do tubo;
- Convecção entre o fluido externo e as paredes externas do tubo.

A “facilidade” com que se dá a troca de calor não é igual em cada umas das zonas antes referidas, e depende de diversos fatores a saber:

- Velocidade de circulação do fluido arrefecedor (ar ou água);
- Grau de limpeza interior e exterior da tubagem do condensador - o óleo, a incrustação de substâncias e o pó são piores condutores de calor que o metal pelo que deverá procurar manter a superfície o mais limpa possível.

A quantidade de calor que se consegue retirar num condensador depende dos seguintes fatores:

- Da superfície total de permuta ( $S$ );
- Da diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura média do meio arrefecedor ( $\Delta T$ );
- Do coeficiente global de transferência de calor ( $K$ ) entre a superfície de permuta e o meio arrefecedor.

Assim sendo, a potência do condensador pode definir-se de acordo com a equação 2.2.

$$P = K \times S \times \Delta T \quad (2.2)$$

Onde:

$P$ , é a potência do condensador;

$K$ , é o coeficiente global de transferência de calor;

$S$ , a superfície total de permuta;

$\Delta T$ , a diferença de temperatura.

A classificação dos condensadores depende do tipo de construção, do fluido arrefecedor utilizado e do modo de transmissão de calor.

Pode-se classificar os condensadores em:

- Condensadores a ar;
- Condensadores a água;
- Condensadores evaporativos.

O ar é um meio de condensação que se pode dispor gratuitamente e em quantidade ilimitada, pelo que este seria o primeiro eleito para obter de forma económica a condensação do fluido frigorigénio. No entanto, o ar tem um calor específico baixo (  $1,012 \text{ kJ/kg K}$  de ar seco para a temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ) ( Singh & Heldman, 2001 ), mas mesmo apresentando este inconveniente, os condensadores a ar são largamente utilizados devido ao custo do metro cubico da água ser muito elevado e portanto restritivo à sua aplicação.

As fotos abaixo mostram aplicações práticas de diferentes tipos de condensadores atualmente em funcionamento em Portugal.



Figura 9 - Condensadores a ar em "V"



Figura 10 - Condensador evaporativo



Figura 11 - Condensador tubular a água

#### 2.3.4 Dispositivos de expansão

O dispositivo de expansão cumpre dois objetivos:

- Reduzir a pressão do refrigerante líquido;
- Regular o caudal de fluido do refrigerante para o evaporador.

O compressor e o dispositivo de expansão devem funcionar em equilíbrio entre a sucção e a descarga, de forma que permita o compressor bombear do evaporador, o mesmo caudal de refrigerante que o dispositivo de expansão alimenta o evaporador. Uma condição de fluxo não equilibrado entre estes componentes deve ter uma duração bastante reduzida. O funcionamento prolongado em desequilíbrio poderá originar o encharcamento do evaporador ou a sua secura.

Existem diversos tipos de dispositivos de expansão:

- **Válvulas de expansão de pressão constante**, mantêm a pressão constante em relação a sua saída, ou seja, para a entrada do evaporador. Quando a pressão no evaporador desce abaixo do ponto de controlo a válvula abre mais, quando a pressão aumenta acima do ponto de controlo a válvula fecha-se parcialmente.
- **Válvulas de expansão termostática**, onde o controlo do caudal mássico que entra no evaporador é efetuado pela temperatura do gás sobreaquecido de sucção que sai do evaporador.
- **Válvulas eletrónicas de expansão**, como o seu controlo é independente das pressões do refrigerante, a válvula funciona independente da direção do fluxo que a atravessa. O controlo eletrónico dá uma flexibilidade que permite escolher esquemas de controlo que são impossíveis de ser aplicados com outras válvulas.

- **Tubos capilares**

Os **tubos capilares** servem quase todos os sistemas de refrigeração de dimensão pequena.

O refrigerante líquido entra no **tubo capilar**, e à medida que o refrigerante passa pelo tubo, a pressão cai devido a fricção e a aceleração de refrigerante. A diferença de pressão desejada pode ser obtida combinando-se os valores do diâmetro interno com o comprimento do capilar. Existem diversas combinações de calibre e comprimento disponíveis para obter as condições desejadas.

O tubo capilar consegue regular a quantidade de fluido refrigerante que entra no evaporador baseado no princípio de que uma massa de refrigerante no estado líquido passará mais facilmente através de um capilar que a mesma massa de refrigerante no estado gasoso.

Consequentemente, se o vapor do refrigerante não condensado entra no capilar, o caudal será reduzido, permitindo ao refrigerante mais tempo de arrefecimento no condensador. Por outro lado, se o refrigerante líquido for acumulando no condensador, a pressão e a temperatura aumentarão, resultando em um aumento de fluxo de massa de refrigerante.

A sua grande vantagem é o reduzido custo. O grande inconveniente resulta de não ser possível qualquer ajuste para variações de pressão de descarga, pressão de sucção, ou de carga térmica.

## 2.4 Eficiência energética

A eficiência energética pode ser definida como a otimização que se pode fazer no consumo de energia (EDP, 2006).

A eficiência energética tem ganho um papel importante na agenda política dos países mais desenvolvidos. A sua importância como objetivo político está relacionada com os benefícios em atividades comerciais, competitividade industrial, segurança energética, assim como benefícios ambientais, como a redução de emissões de CO<sub>2</sub> (Patterson, 1996).

A eficiência energética é um termo genérico e não há nenhuma medida quantitativa inequívoca de "eficiência energética". Em vez disso, devem ser tidos em consideração uma série de indicadores para quantificar mudanças na eficiência energética. Em geral, a eficiência energética refere a utilização de menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou de *output* útil. Por exemplo, no sector industrial, a eficiência energética pode ser medida pela quantidade de energia necessária para produzir uma tonelada de produto. Assim, a eficiência energética, é frequentemente definida pela relação simples explicitada pela equação 2.3 (Patterson, 1996):

$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{Saída útil de um processo}}{\text{Entrada de energia para um processo}} \quad (2.3)$$

Nos dias que correm, a satisfação das necessidades energéticas do mundo assenta sobretudo na exploração dos combustíveis fósseis. A limitação da quantidade de reservas, associada ao incremento exponencial da sua utilização, apresenta-se como um grave problema a resolver.

Estima-se que, até 2050, a procura de energia pode duplicar ou triplicar, à medida que a população aumenta e os países desenvolvidos expandem a sua atividade (ADENE & DGEG, 2010).

A utilização eficiente de energia assume, desta forma, um papel importantíssimo na operacionalização do desenvolvimento sustentável, tornando-se essencial a criação de estratégias e iniciativas a longo prazo que proporcionem um melhor e mais correto aproveitamento dos recursos energéticos.



Como referido, à transformação de energia e ao seu consumo estão associados perdas. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater estes desperdícios de energia ao longo do processo de transformação: desde que a energia é transformada até quando é utilizada.

#### 2.4.1 O consumo de energia em Portugal

Em Portugal, o consumo de energia final tem apresentado uma ligeira variação ao longo dos anos. No ano de 2013, como se verifica na figura 12, o valor total de energia primária consumida em Portugal foi de 21.704 tep (ADENE & DGEG, 2010).

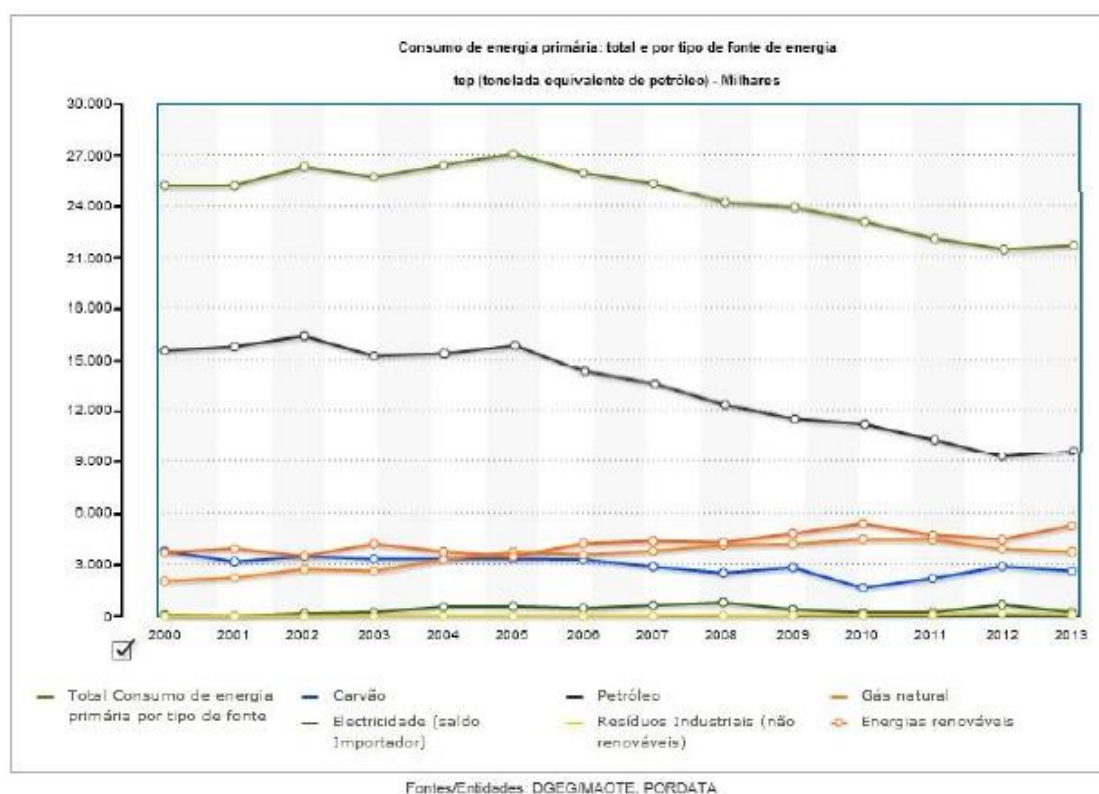


Figura 12 - Consumo de energia primária (ADENE & DGEG, 2010).

A situação energética de Portugal caracteriza-se por uma forte dependência energética relativamente ao exterior. Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas, como: petróleo, gás natural e carvão. Esta escassez proporciona uma elevada dependência energética. No entanto, é possível verificar também que a percentagem de dependência energética tem vindo a diminuir ligeiramente ao longo dos últimos anos.

Esta situação leva a uma forte pressão sobre a balança de pagamentos, a uma enorme dependência económica relativamente ao exterior e a uma economia dependente das flutuações de preço nos produtos energéticos dos mercados internacionais.

O consumo energético nos supermercados é bastante elevado. Este tipo de edifícios é dos que apresenta maior consumo dentro do sector dos serviços, ocupando a terceira posição, a par dos hipermercados, entre os edifícios com maior consumo energético por metro quadrado

(320 kWh/m<sup>2</sup>). Assim, estes apresentam-se como alvos preferenciais de apresentação de propostas de melhoria de eficiência energética (DGE, 2002).

#### **2.4.2 Impacto das aplicações de refrigeração sobre o aquecimento global**

No decurso do século XX, a sociedade foi alvo de uma forte evolução tecnológica, no sector industrial e em especial na área dos transportes, comunicações, saúde e alimentação. Esta forte mudança trouxe consigo, numa primeira fase, inúmeros benefícios. No entanto, algumas dessas atividades trouxeram consigo consequências indesejáveis que se refletiram, até aos dias de hoje, numa preocupação a nível mundial. Nas últimas décadas, a forte polémica associada ao aquecimento global, fruto do aumento exponencial da libertação de gases de efeito de estufa para a atmosfera, passou a fazer parte das preocupações globais da sociedade em geral. As potências mundiais têm vindo a procurar ações ou legislações que minimizem os efeitos deste fenómeno, paralisando ou substituindo processos inadequados de produção industrial, por outros que não produzam os mesmos problemas.

O sector da refrigeração surge então como um dos que mais tem vindo a contribuir para o aquecimento global do planeta. Após o protocolo de Quioto, alguns dos fluidos utilizados em sistemas de refrigeração foram incluídos nos gases que contribuíam para o efeito de estufa (HFC). Assim, a investigação ao nível de alternativas destes gases tornou-se uma necessidade premente.

O impacto ambiental de um fluido refrigerante pode ser avaliado com base na sua influência sobre a camada de ozono e sobre o potencial de aquecimento global

Em relação ao impacto do fluido refrigerante sobre a camada de ozono, considera-se o parâmetro de medição: ODP – Potencial de destruição da camada de ozono (*Ozone Depletion Potential*).

A avaliação do aquecimento global, por sua vez, baseia-se em índices como o GWP – Potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential*) e o TEWI – Valor total equivalente de impacto global (*Total Equivalent Warming Impact*)

#### **Potencial de destruição da camada de ozono (ODP)**

O ozono (O<sub>3</sub>) é um gás cuja molécula contém três átomos de oxigénio (O). Cerca de 90% do ozono que existe na atmosfera encontra-se na estratosfera, entre 10 a 50 km acima da superfície terrestre, mas as maiores concentrações de ozono aparecem a altitudes aproximadamente entre 15 e 35 km, constituindo o que se denominou por “Camada de Ozono”.

O potencial de destruição da camada de ozono é o índice que traduz o potencial de uma substância para a destruição da camada de ozono. Para este índice, é tomado como referência o refrigerante CFC11, que apresenta o maior valor de potencial (ODP = 1). Embora o ODP de um refrigerante não esteja diretamente relacionado com o seu desempenho energético, este critério é um dos fatores relevantes a ter em consideração na eleição de um fluido refrigerante.



## **Efeito de estufa**

A temperatura da superfície terrestre aumentou cerca de 0,5°C desde 1975. Atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis, o emprego de certos fertilizantes, o desmatamento e o grande desperdício contemporâneo de alimentos, que têm entre seus resultados a elevação nos níveis atmosféricos de gases estufa, vêm intensificando de maneira importante o efeito estufa e desestabilizando o equilíbrio energético no planeta, produzindo este fenómeno. Os fluidos frigorigénios, entre outros, são responsáveis por este efeito.

Para avaliar a capacidade de alterar o balanço de energia estabelecido de forma natural entre a Terra e a atmosfera, e poder comparar umas substâncias com outras, desenvolveu-se um parâmetro denominado Potencial de Aquecimento Global – GWP (*Global warming potential*). Este parâmetro foi definido pelo IPCC (*Intergovernmental panel on climate change*).

## **Potencial de aquecimento global (GWP)**

O potencial de aquecimento global é o indicador que mede o impacto de uma substância, como um gás de efeito de estufa, relativamente ao efeito do aquecimento global de uma massa similar de dióxido de carbono, para um intervalo de tempo específico (cujo valor deve ser especificado, mas que normalmente é de 100 anos).

O GWP é calculado através da razão entre o efeito radiante temporal integrado na libertação instantânea de 1 kg de uma dada substância, face à libertação de 1 kg de um gás de referência – CO<sub>2</sub>, conforme a equação 2.4

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{ITH} \alpha_x [x(t)] dt}{\int_0^{ITH} \alpha_r [r(t)] dt} \quad (2.4)$$

Onde:

GWP, é o *global warming potential*;

ITH, é o horizonte temporal considerado;

$\alpha_x$ , é a eficiência radiante devido ao crescimento unitário na abundancia atmosférica da substância em questão;

$\alpha_r$ , é a eficiência radiante devido ao crescimento unitário na abundancia atmosférica para o gás de referência;

$x(t)$  é o decaimento transiente na abundancia da libertação instantânea da substância;

$r(t)$  é o decaimento transiente na abundancia da libertação instantânea da substância de referência.

## **Valor total equivalente de impacto global (TEWI)**

O indicador de TEWI foi desenvolvido no início dos anos 90, como um índice comparativo do impacto de aquecimento global, entre aplicações de refrigeração semelhantes e que utilizavam diferentes fluidos refrigerantes.

Diferentes autores dissertaram sobre os dados necessários para poder obter um valor de TEWI, podendo concluir-se que o TEWI não se calcula para um determinado refrigerante, mas sim para uma determinada aplicação onde se deve conhecer o seguinte:

- Tipo de refrigerante empregado e respetivo GWP;
- Quantidade em massa de refrigerante utilizada durante o funcionamento de uma instalação durante todo o seu período de vida;
- Utilização de algum outro gás de efeito de estufa, respetivos GWP e massas;
- Energia consumida por ano;
- Período de vida;
- Fator de conversão para CO<sub>2</sub> libertado por kWh.

#### 2.4.3 Eficiência energética de um sistema de refrigeração

A eficiência de um ciclo de refrigeração pode ser analisada através do coeficiente de performance (COP). O COP é normalmente utilizado para se avaliar a relação entre a capacidade de refrigeração obtida e o trabalho gasto para tal, sendo definido de acordo com a equação 2.5 (Ananthanarayanan, 2006).

$$COP = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{W}_C} \quad (2.5)$$

Onde:

COP, é o coeficiente de performance;

$\dot{Q}_E$ , é a potência de refrigeração;

$\dot{W}_C$ , é a potência de compressão.

## **3 Aplicações da refrigeração**

### **3.1 Refrigeração doméstica**

A refrigeração doméstica é uma extensão um tanto limitada, abrangendo principalmente a fabricação de refrigeradores de uso doméstico e congeladores caseiros. As unidades domésticas são geralmente pequenas em tamanho, tendo potências nominais com cerca de ½ cv e são geralmente do tipo hermeticamente fechadas.

### **3.2 Refrigeração comercial**

A refrigeração comercial é o tipo de refrigeração que abrange este projeto. Normalmente a refrigeração comercial contempla o projeto, a instalação e a manutenção da instalação. Este tipo de instalação é usada pelos hotéis, restaurantes, lojas comerciais e locais de armazenamento.

### **3.3 Refrigeração industrial**

A refrigeração industrial é muitas vezes confundida com a refrigeração comercial, porque a divisão entre estas duas áreas não é definida claramente. Como regra geral as aplicações industriais são maiores que as comerciais em tamanho e tem a característica de requererem um operador de serviço.

As aplicações típicas industriais são: as fábricas de gelo, grandes instalações de empacotamento de géneros alimentícios (carnes, peixe, alimentos congelados, etc), cervejarias, fábricas de lacticínios, etc.

### **3.4 Refrigeração marítima e de transportes**

A refrigeração marítima, naturalmente refere-se à refrigeração a bordo de embarcações marítimas, quer para barcos de pesca, embarcações de transportes de mercadorias perecíveis ou outros.

A refrigeração de transportes relaciona-se com equipamentos de refrigeração aplicada a camiões e a vagões ferroviárias.



## 4 Dimensionamento de uma instalação de refrigeração comercial considerada verde

### 4.1 Definição de instalação “verde”

Entende-se neste projeto a definição de instalação frigorífica verde, como sendo uma instalação frigorífica com recurso a fluidos frigorigénios “Bons” ou seja com ODP=0, GWP muito reduzido, com alta eficiência energética e com baixo efeito de estufa. É também um projeto cuja seleção e dimensionamento dos equipamentos tem em conta todos os fatores possíveis de aplicar, que conduzam à redução do consumo de energia.

### 4.2 Características da loja (superfície comercial)

Para este estudo foi escolhido um hipermercado, que é um dos tipos de edifícios de retalho de grande distribuição. O hipermercado a utilizar no projeto foi desenvolvido a partir do espaço físico de grandes dimensões, com aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup> de superfície. Para este hipermercado foram dimensionados e implantados todos os módulos de móveis frigoríficos e câmaras. Desta forma, foi então projetado um conjunto de 92 módulos (aproximadamente 256 metros lineares) de móveis frigoríficos de temperaturas positivas (*middle temperature*), 26 módulos (aproximadamente 76 metros lineares) de móveis de temperaturas negativas (*low temperature*), localizados na sala de vendas do hipermercado. No que diz respeito à zona de câmaras frigoríficas do hipermercado, projetaram-se 12 câmaras de refrigeração e 8 salas de trabalho com temperaturas positivas e 5 câmaras de congelados com temperaturas negativas. Por fim, foram implantadas duas máquinas de gelo para satisfazer todas as necessidades de produção de gelo para consumo na loja.

A refrigeração será distribuída em duas localizações principais, a sala de vendas e a zona de câmaras. A sala de máquinas será localizada na retaguarda e será constituída pelas centrais produtoras de frio, o quadro elétrico da instalação frigorífica, controlos de segurança, e depósitos de refrigerantes e óleo.

Os condensadores a utilizar são permutadores de placas colocados na casa de máquinas. O condensador de negativos é um permutador de CO<sub>2</sub>- Água Glicolada. O condensador de positivos é um permutador de NH<sub>3</sub>-Água, sendo esta arrefecida por ar através de um segundo permutador com ventiladores axiais, e por isso estarão localizados no piso técnico, situado a 6 metros de altura, por cima da sala de máquinas.

Um resumo explicativo da constituição do hipermercado poderá ser analisado na figura 13, onde se vê a distribuição do supermercado em temperaturas de conservação positivas e negativas, e os respetivos equipamentos que deverão fazer parte da sua constituição.

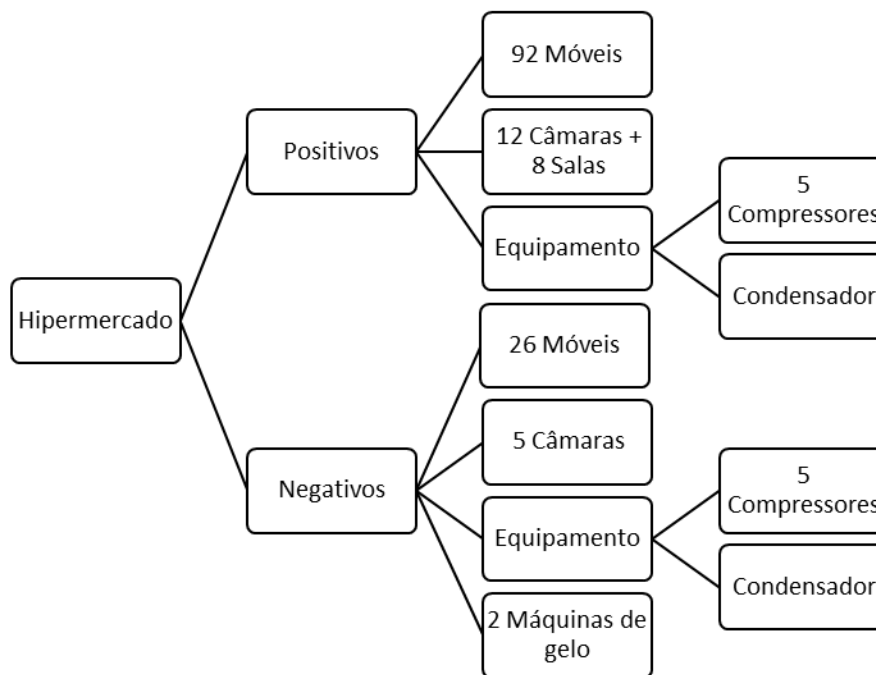


Figura 13 - Constituição do hipermercado

### 4.3 Sistemas de refrigeração a usar

Atualmente a nível de refrigeração comercial em supermercados e hipermercados os fluidos frigorigénios utilizados são o R404a e o R134a. Começa também agora a iniciar-se o uso de CO<sub>2</sub> para o circuito de baixas temperaturas.

Neste caso, e para se tratar este projeto como um projeto verde optou-se por usar os seguintes fluidos:

- Circuito de Baixas Temperaturas: CO<sub>2</sub> em regime sub-critico
- Circuito de Médias Temperaturas: NH<sub>3</sub> como fluido frigorigénio primário e Monoetileno de Glicol como fluido secundário.

Razões para esta escolha:

#### CO<sub>2</sub> ( R744 ):

Os refrigerantes naturais não prejudicam o meio ambiente e são tecnicamente eficientes para um leque de aplicações. Sendo assim, o uso do dióxido de carbono como refrigerante tem vindo a converter-se ao longo dos últimos anos numa boa opção no que diz respeito aos sistemas de refrigeração em supermercados. Dessa forma, esta substância tem sido fortemente estudada por empresas e instituições preocupadas com o futuro do planeta, a fim de se desenvolverem novas aplicações para o mesmo. É de realçar que o CO<sub>2</sub> é o único refrigerante de origem natural que não apresenta problemas de toxicidade nem de inflamabilidade, o que lhe proporciona a designação de fluido frigorigénio do futuro (Batle, 2010).

#### CO<sub>2</sub> como refrigerante:

##### PRÓS

- É um refrigerante natural;
- (ODP = 0) Não contribui para o desaparecimento da camada de Ozono;

- (GWP = 1) Muito baixa contribuição para o aquecimento global;
- Não tóxico e não inflamável;
- É uma matéria prima de baixo custo;
- Tecnologia comprovada e fiável.

#### CONTRAS:

- Sistema de alta pressão até 120 bar;
- É obrigatório o treino na prática de manuseamento, tanto para o serviço técnico como para o pessoal de armazém;
- O CO<sub>2</sub> é um gás inodoro e incolor que pode sobrepor-se ao oxigénio e causar doenças ou mesmo a morte em altas concentrações;
- Os sistemas de CO<sub>2</sub> não estão por enquanto *standardizados*;
- Cada projeto deve ser intensamente preparado e desenhado.

As principais características deste fluido encontram-se sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características do CO<sub>2</sub> (R744)

CO <sub>2</sub> ( R 744 )	
Considerações Ambientais	ODP=0 ; GWP=1
Classificação	Fluido de longo prazo
Segurança	Classe A1
Temperatura de ebulição	-78,41 °C
Peso molecular	44,01 g/mol
Pressão e temperatura críticas	73,84 bar / 31,06 °C
Entalpia de vaporização a -40 °C	321,3 kJ/Kg

No Anexo A pode observar-se o diagrama de Mollier desta substância.

#### NH<sub>3</sub> ( R717 ):

O amoníaco utiliza-se como fluido refrigerante há mais de 120 anos e, por isso, as suas propriedades e aplicações são perfeitamente conhecidas. No entanto, devido a alguns inconvenientes inerentes à utilização deste componente, nomeadamente no que respeita à segurança, o seu uso limita-se exclusivamente à casa de máquinas.

#### NH<sub>3</sub> como refrigerante:

#### PRÓS

- Excelentes propriedades termodinâmicas, de transferência de calor e de massa;
- É quimicamente neutro para os elementos dos circuitos frigoríficos, com exceção do cobre;
- O amoníaco dificilmente se mistura com o óleo lubrificante;
- Não é sensível à presença de ar húmido ou de água;
- É facilmente detetável em caso de fuga por ser muito leve, resultando num aumento de fiabilidade do sistema;
- O amoníaco é fabricado para muitos mais usos além da refrigeração, o que permite a manutenção do seu preço baixo e acessível. Em qualquer caso, o preço do amoníaco é

muito inferior ao custo total da maioria dos outros refrigerantes, sendo que é necessária uma quantidade inferior de amoníaco em relação por exemplo ao R404a, para a mesma potência térmica;

- A necessidade de usar tubagem em aço aumenta o período de vida útil da instalação;
- É facilmente biodegradável.

#### CONTRAS:

- Tóxico;
- Exige medidas de segurança elevadas relativamente aos riscos para a saúde em caso de fuga.

A Tabela 2 regista as principais características do fluido.

Tabela 2 - Principais características do NH<sub>3</sub> (R717)

NH <sub>3</sub> (R717)	
Considerações Ambientais	ODP=0 ; GWP=0
Classificação	Fluido de longo prazo
Segurança	Classe B3
Peso molecular	17,03 g/mol
Temperatura de ebulição ( P=1,013 bar)	-33,35 °C
Pressão e temperatura críticas	113,3 bar / 132,25 °C
Calor latente de vaporização (-20°C)	1329,4 kJ/kg

No Anexo B pode observar-se o diagrama de Mollier desta substância.

#### MEG:

A água glicolada, distribuída por bombagem (ou bombeamento), refrigerará todas as câmaras frigoríficas de refrigerados, expositores de refrigerados e salas climatizadas.

A aplicação de um sistema de refrigeração indireto para os consumidores de temperatura positiva usando o monoetileno de glicol como refrigerante secundário, deve-se às seguintes razões:

- Obtenção de uma maior uniformidade de temperaturas nas câmaras frigoríficas de refrigerados, salas climatizadas e expositores de refrigerados;
- Possíveis fugas de fluido frigorígeno muito menos dispendiosas;
- Custo do monoetileno de glicol muito inferior ao do R134a, R404a ou outro fluido frigorígeno;
- Pequena carga de NH<sub>3</sub> na central frigorífica de refrigerados;
- Reparação de fugas muito fácil e sem parar a instalação frigorífica;
- Coeficiente de permuta superior.

Na Tabela 3 podem ser verificadas as principais características dos fluidos frigorígenos a usar neste projeto.



Tabela 3 - Características do NH<sub>3</sub> e do CO<sub>2</sub>

Substancia	Nome	ODP	GWP	Inflamável	Tóxico
Amoníaco	R717	0	0	Sim	Sim
CO <sub>2</sub>	R744	0	1	Não	Não

Na Tabela 4 encontram-se as características comparativas para os diferentes tipos de fluidos frigorigénios.

Tabela 4 - Comparação entre vários fluidos frigorigénios

Substancia	Nome	ODP	GWP	Inflamável	Tóxico
CFC	R 11	1	4.000	Não	Não
HCFC	R 22	0,1	1.500	Não	Não
HFC	R 134a	0	1.300	Não	Não
HFC Mistura	R 404a	0	3.900	Não	Não
Amónia	R 717	0	0	Sim	Sim
CO2	R 744	0	1	Não	Não

#### 4.4 Isolamento térmico das câmaras frigoríficas e salas de trabalho

O isolamento térmico das camaras frigoríficas e salas de trabalho é construída em painéis isotérmicos tipo *sandwich* com chapa termolacada no exterior (ambas as faces) e isolamento interior em espuma rígida de poliuretano injetada (PU).

Existem neste projeto 3 áreas de isolamentos:

As câmaras frigoríficas de refrigerados, utilizadas para manter os géneros de alimentos com temperaturas de conservação positivas ( $\geq 0^{\circ}\text{C}$ ):

Temperatura entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $2^{\circ}\text{C}$  - Para câmaras com produtos como peixes e carnes.

Temperatura entre  $+2^{\circ}\text{C}$  e  $+4^{\circ}\text{C}$  - Para refrigerar alimentos de charcutaria, produtos de livre serviço, pastelaria, frutas e verduras.

As salas de trabalho, também chamadas de laboratórios de trabalho, onde as temperaturas variam entre  $+10^{\circ}\text{C}$  e os  $+12^{\circ}\text{C}$ .

As câmaras de temperaturas negativas são destinadas à conservação de produtos congelados, com intervalo de temperatura entre  $-18^{\circ}\text{C}$  e os  $-24^{\circ}\text{C}$

Na sua generalidade o valor do coeficiente de condutividade térmica do poliuretano, material usado no isolamento das parede, das portas e dos tetos, é  $0,023 \text{ W/mK}$  (Coldkit, 2010).

Estes painéis de isolamento térmico são constituídos por poliuretano injetado com uma massa volumica não inferior a  $40 \text{ kg/m}^3$ . O seu processo de enchimento deve ser sujeito a um controlo apertado de qualidade de modo a evitar-se a formação de bolhas de ar que alteram a resistência térmica da espuma. Deverão ser constituídos por uma chapa em aço galvanizado na face quente com uma espessura mínima de  $0,5 \text{ mm}$  de forma a servir como barreira ao vapor, enquanto que a face fria poderá ser constituída por uma folha de alumínio. A barreira ao vapor deverá estar presente em todas as envolventes.

As espessuras a considerar são :

- Câmaras de congelados: 120 mm;
- Câmaras de refrigerados: 60 mm;
- Laboratórios de trabalho : 60 mm.

As câmaras frigoríficas de temperatura negativa serão isoladas por painéis com 120 mm espessura (paredes e tectos), terão o solo isolado em tradicional com encastramento de 24 cm. O isolamento será constituído por placas de poliuretano, aplicadas sobre duas demãos de barreira de vapor "*Vapour Barrier*" da Shell, à razão de 3 kg/m<sup>2</sup>, com a espessura de 100 mm + 50mm.

As câmaras frigoríficas de temperatura positiva, serão isoladas por painéis com 60 mm de espessura (paredes e tetos), que serão assentes sobre solo acabado.

As zonas climatizadas (laboratórios) serão isoladas por painéis com 60 mm de espessura (paredes e tetos), que serão assentes sobre solo acabado.

Pormenores a ter em conta na montagem dos painéis isotérmicos:

- As uniões entre painéis garantem elevada resistência mecânica, continuidade de isolamento, ausência de pontes térmicas entre o interior e o exterior. Terão os ângulos interiores verticais e horizontais arredondados por perfis próprios, de forma a respeitar as normas sanitárias em vigor.
- As juntas entre painéis nas câmaras de temperatura positiva serão colmatadas com um cordão de *mastic*, silicone tipo alimentar, de forma a não existirem reentrâncias que possibilitem a acumulação de detritos e consequente desenvolvimento microbiano.

#### 4.5 Considerações ou melhorias introduzidas para que seja um projeto verde

A definição deste projeto considerou logo à partida as soluções de melhoria da eficiência energética de forma a obter a criação de um espaço comercial mais verde.

Em estudos internos elaborados pela Sistavac ao longo dos tempos, foram elaborados registos dos custos de energia de um supermercado, repartidos da forma representada na figura 14.

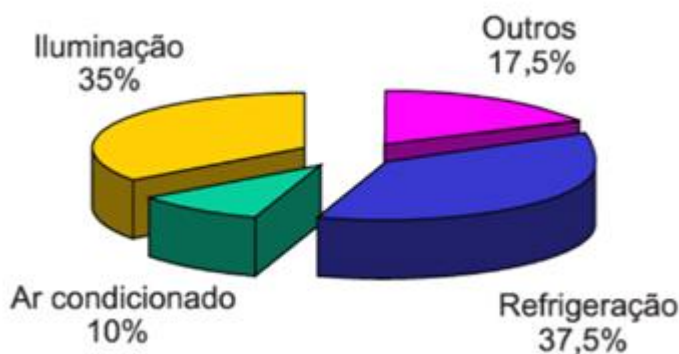


Figura 14 - Repartição dos custos de energia de um supermercado (medições internas Sistavac )

Da energia que se gasta na área da refrigeração, os principais consumidores são os apresentados na figura 15.

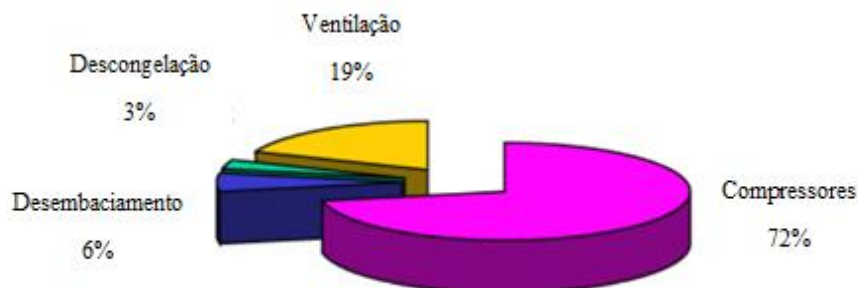


Figura 15 - Distribuição do consumo de energia de refrigeração para um supermercado (medições internas Sistavac )

Tendo em conta os valores apresentados na figura 15, enumeram-se a seguir as opções feitas a nível de melhorias a introduzir na seleção de equipamentos frigoríficos de forma a reduzir os consumos energéticos.

#### 4.5.1 Portas e tampas de alta eficiência energética

Apesar das poupanças energéticas resultantes da aplicação de portas nos expositores frigoríficos, as mesmas não tiveram uma rápida implantação no mercado devido ao risco de perdas de vendas que a área comercial entendia ter. A evolução da aplicação de portas nos expositores frigoríficos pode ser analisada na figura 16.



Figura 16 – Evolução dos expositores frigoríficos.

Os diferentes fabricantes de expositores frigoríficos, tais como: *Arneg*, *Bonnet Névé*, *Constan*, *Koxka*, *Linde*, têm estudos que comprovam que a poupança energética ronda os 45% quando se aplica portas num mural de refrigerados.

Um dos casos de estudo com muito sucesso foi o estudo *Koxka* para os murais modelo MG que comprovou as seguintes poupanças, nas seguintes condições:

Condições :

- Condições de loja : 22 °C / 55% HR;
- Mural com cortina noturna : 12 horas;
- Abertura portas : Móvel de 4 portas / 10 vezes x hora / 15 segundos de tempo de abertura.

Poupança:

- Poupança de 65% no consumo de energia de refrigeração em murais refrigerados para carne;
- Poupança de 69% no consumo de energia de refrigeração em murais de refrigerados para lácteos.

#### 4.5.2 Fecho posterior

Para as vitrines de atendimento, uma das opções disponíveis no mercado são as portas traseiras deslizantes ou também chamado fecho posterior. Com a aplicação de portas neste tipo de vitrines refrigeradas os estudos comprovam a redução no consumo de energia de refrigeração na ordem dos 20% ( figura 17 ).



Figura 17 - Aplicação de fecho traseiro deslizante em vitrines de atendimento

#### 4.5.3 Iluminação LED

A iluminação utilizada nos expositores frigoríficos são um elemento de grande consumo de energia, quer energia total quer energia de refrigeração. Sendo assim, este foi um dos alvos de estudos amplamente desenvolvido, no sentido de otimizar os consumos energéticos.

Com isto, a utilização de iluminação LED é hoje uma realidade difundida face à utilização de iluminação com lâmpadas fluorescentes T8 e T5.

A substituição das lâmpadas fluorescentes convencionais nos móveis de frio veio não só baixar radicalmente os consumos, na ordem dos 70%, como trazer uma uniformidade aos produtos expostos, sem zonas de escuridão.

Este efeito foi conseguido devido a este tipo de lâmpadas ser facilmente orientável, colocando a luz apenas onde é necessária. Também o calor emitido pela iluminação foi um fator a ter em conta, uma vez que estes expositores de frio devem manter uma temperatura constante, e com os LED não há emissão de calor pela fonte de luz, não havendo assim também necessidade de arrefecimento adicional dos móveis de frio, sendo este um benefício adicional.

Vantagens:

- Não projeta luz infra-vermelha eliminando o aquecimento do produto por radiação;
- Não projeta luz ultravioleta que degrada o produto;
- Maior uniformidade de iluminação;
- Prolonga a vida do dispositivo de iluminação: a vida de uma lâmpada LED é 4 vezes superior à de uma lâmpada fluorescente.

#### 4.5.4 Ventiladores de alta eficiência

Os motores de ventilação (evaporadores + unidades de condensação + ventilação nos móveis) representam quase 20% do consumo primário de energia de um supermercado. Estes componentes são a maior causa do baixo nível de eficiência energética, mas por outro lado proporcionam uma das melhores oportunidades para a melhorar. Uma poupança de cerca de 60% causa uma redução de cerca de 12% do consumo energético total.

##### Ventiladores eletrónicos

Com a utilização deste tipo ventiladores é possível uma poupança energética na ordem dos 60%, comparativamente com os ventiladores *standard*. Para além disso, os ventiladores eletrónicos (EC) apresentam um tempo de vida útil maior em cerca de 20%.

O menor consumo elétrico dos ventiladores EC implica também um menor consumo de potência frigorífica na compensação de calor gerado.

#### 4.5.5 Controlo de centrais frigoríficas e condensadores

Segundo estudos internos realizados pela Sistavac, sobre a distribuição do consumo energético nas instalações de refrigeração, 72% da energia consumida corresponde ao funcionamento de compressores. Para reduzir este consumo podemos atuar de três formas, exemplificadas na figura 18.

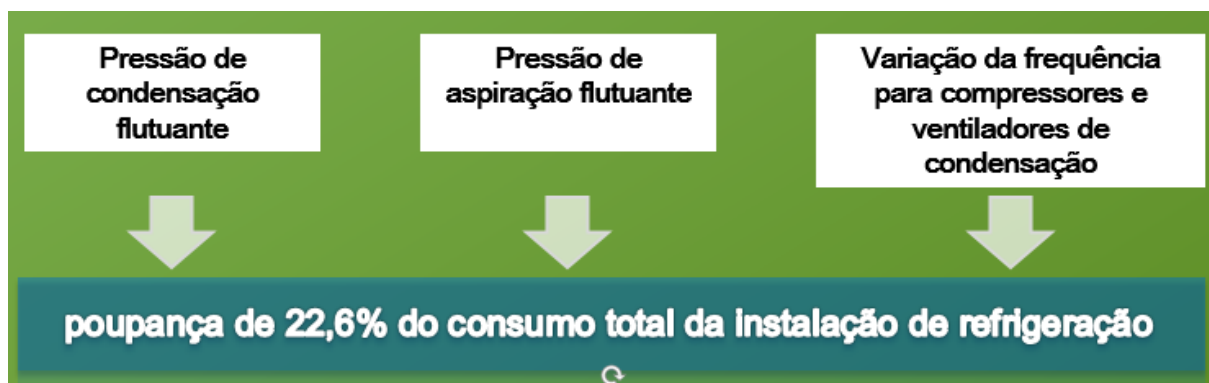


Figura 18 - Controlo de Centrais Frigoríficas – Três principais fatores a controlar com impacto no consumo energético.

O controlo das centrais frigoríficas assume-se como uma solução de eficiência energética nos sistemas de refrigeração comerciais e industriais:

- Atua diretamente na redução do consumo energético;
- Reduz os custos de manutenção das instalações;
- Assume um papel ativo na diminuição da “Pegada Carbónica” da instalação frigorífica.

Essencialmente, este sistema atua de uma forma dinâmica pois controladamente, as pressões de trabalho vão sendo alteradas ao longo do dia através da gestão de cargas da central frigorífica.

Sem que as temperaturas dos produtos sejam postas em causa, a aspiração flutuante combinada com a condensação flutuante permite níveis de poupança que podem chegar aos 22,6%.

### **Pressão de aspiração flutuante:**

A aspiração de uma central de frio é controlada através da gestão do funcionamento dos compressores.

As centrais de frio trabalham com aspirações na ordem dos 2,6 bar (cerca de -12°C) para temperaturas positivas e 11 bar (cerca de -37 °C) para temperaturas negativas.

Numa central convencional, sem controlo eletrónico atualizado, estas pressões / temperaturas poderão ser ainda mais baixas. O trabalho dos compressores será diminuído com o aumento destas pressões, e consequência disso será a redução do consumo energético como está exemplificado na figura 19.



Figura 19 - Variação da pressão de aspiração versus consumo de energia.

### **Pressão de condensação flutuante:**

A condensação é controlada através da gestão do condensador da central de frio. Neste caso, a central de positivos tem uma pressão de condensação que ronda os 15 bar ( 35 °C) e a central de negativos tem uma pressão de condensação que ronda os 28 bar (-7 °C). Tal como no caso da aspiração, em situações que o controlo é obsoleto, estas pressões podem ser mais elevadas uma vez que não é possível um controlo fino. Ao contrário da aspiração, o trabalho dos compressores é diminuído com a diminuição da pressão de condensação, tal como se representa na figura 20.





Figura 20 - Variação da pressão de condensação versus consumo de energia.

### **Variadores de frequência:**

A utilização de variadores de frequência é uma medida que se traduz na diminuição do número de arranques dos compressores, permitindo uma compressão variável segundo as necessidades de potência de compressão em cada instante. Para além de reduzir o consumo elétrico, minimiza os custos de manutenção dos compressores, pela diminuição do número de horas de funcionamento.

## **4.6 Balanço térmico**

Após definição dos vários fatores que intervêm diretamente para o cálculo frigorífico, fez-se o balanço térmico da instalação frigorífica.

Para tal, têm de ser calculadas as cargas térmicas das câmaras frigoríficas e expositores frigoríficos separadas pelos diferentes circuitos:

- Circuito de baixas temperaturas (congelados);
- Circuitos de médias temperaturas (refrigerados).

### **4.6.1 Balanço térmico - câmaras frigoríficas**

Existem várias alternativas para o cálculo das necessidades frigoríficas das câmaras, sendo possível calcular, tanto por meio de programas, como através do cálculo “manual”.

Nos dias de hoje para o dimensionamento das câmaras frigoríficas utilizam-se *softwares* disponíveis para o efeito. Neste caso foi utilizado o *software* desenvolvido pela Sistavac.

Contudo, este cálculo nada é mais do que o cálculo da carga total de refrigeração, ou seja, a quantidade de kW que devem extrair-se de modo a obter a temperatura desejada na câmara frigorífica.

Assim tem-se que calcular as cargas térmicas totais que é a soma das diferentes variáveis:

- Carga térmica por transmissão de calor (perdas através das paredes);
- Carga térmica por serviço (perdas por abertura de portas e número de pessoas a trabalhar);
- Carga térmica devido a motores elétricos e iluminação dentro da câmara;
- Carga térmica por produto (perdas devido à carga do género alimentar);
- Carga térmica por renovação do ar (renovação do ar no caso das frutas).

A equação 4.1 representa a expressão do cálculo das cargas térmicas.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{serv} + \dot{Q}_{mot} + \dot{Q}_{prod} + \dot{Q}_{ren} \quad (4.1)$$

Onde:

$\dot{Q}_{total}$ , é a carga térmica total;

$\dot{Q}_{trans}$ , é a carga térmica por transmissão de calor;

$\dot{Q}_{serv}$ , é a carga térmica por serviço;

$\dot{Q}_{mot}$ , é a carga térmica devido a motores elétricos e iluminação dentro da câmara;

$\dot{Q}_{prod}$ , é a carga térmica do produto;

$\dot{Q}_{ren}$ , é a carga térmica por renovação de ar.

Nas tabelas 5, 6 e 7 encontram-se os balanços térmicos para os diferentes tipos de câmaras frigoríficas existentes para o caso de estudo.

Tabela 5 - Balanço térmico câmaras congelados

Circuito	Designação	Dimensões úteis					T	Potência total
		C (m)	L (m)	A (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	°C	kW
Negativos	C.C Take Away	5,20	5,20	2,50	27,00	67,60	-23°C	4,49
	C.C. Geral	9,93	7,12	2,50	70,70	176,80	-23°C	9,54
	C.C. On -Line	2,54	1,92	2,50	4,90	12,20	-23°C	1,44
	C.C. Padaria	4,40	3,60	2,50	15,80	39,60	-23°C	3,01
	C.C. Geral	5,25	7,15	2,50	37,50	93,80	-23°C	5,94
								24,42

Tabela 6 - Balanço térmico câmaras refrigerados

Circuito	Designação	Dimensões úteis					T	Potência total
		C (m)	L (m)	A (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	°C	kW
Refrigerados Camaras	C.R. Devoluções	2,20	7,50	2,50	16,50	41,25	0	4,80
	C.R. Talho	9,20	10,48	2,50	96,40	241,04	-1	18,11
	C.R. Queijos	7,04	4,60	2,50	32,40	80,96	2	6,77
	C.R. Charcutaria	4,74	4,60	2,50	21,80	54,51	2	4,77
	C.R. Aves	5,25	3,60	2,50	18,90	47,25	-1	4,79
	C.R. Talho	5,25	3,33	2,50	17,50	43,70	-1	4,47
	C.R. On-Line	2,34	4,80	2,50	11,20	28,08	0	3,40
	C.R. Bacalhau	4,74	4,80	2,50	22,80	56,88	2	7,16
	C.R. Peixe	4,22	4,47	2,50	18,90	47,15	-1	4,77
	C.R. Lacticínios	10,05	5,16	2,50	51,90	129,65	2	9,91
	C.R. On-Line	2,58	2,82	2,50	7,30	18,19	0	2,47
	C.R. Padaria	4,49	4,39	2,50	19,70	49,28	0	5,35
								76,77



Tabela 7 - Balanço térmico áreas climatizadas

Circuito	Designação	Dimensões úteis					T	Potência total
		C (m)	L (m)	A (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	°C	kW
Refrigerados Zonas Climatizadas	Corredor Climatizado	3,36	18,32	3,00	61,60	184,67	12	12,88
	Prep. Charcutaria	6,40	3,60	3,00	23,00	69,12	12	4,82
	Prep. Talho	6,44	3,60	3,00	23,20	69,55	12	4,85
	Buffer	24,31	8,28	3,00	201,30	603,86	12	42,13
	Prep. Peixe	3,60	4,41	3,00	15,90	47,63	12	3,32
	SAS On - Line	15,00	4,90	3,00	73,50	220,50	12	15,38
	Prep. Pastelaria	4,49	7,54	3,00	33,90	101,56	12	7,09
	Casa Máquinas	10,00	10,00	3,00	100,00	300,00	12	17,44
								<b>107,91</b>

#### 4.6.2 Balanço térmico - expositores frigoríficos

Para o cálculo das necessidades frigoríficas dos expositores frigoríficos primeiro é necessário efetuar uma seleção destes, ou seja, a marca, o modelo e as configurações exigidas para uma maior eficiência energética. Neste caso de estudo considerou-se expositores frigoríficos da marca *EPTA*, *Bonnet Névé*, e *J.J Jordão*, tendo por base a seleção dos seguintes critérios:

##### Expositores de Congelados:

Ilhas de congelados com tampas deslizantes e murais com portas;

Moveis de congelados equipados com iluminação LED;

Moveis de congelados equipados com ventiladores de alta eficiência.

##### Expositores de Refrigerados:

Vitrines com fecho posterior;

Murais de refrigerados com portas;

Todos os expositores de refrigerados com iluminação LED;

Todos os expositores de refrigerados com ventiladores de alta eficiência.

A carga térmica dos expositores frigoríficos é fornecida pelos *softwares* próprios da marca ou analisada através dos catálogos técnicos. As tabelas 8 e 9 registam o balanço térmico dos diferentes expositores utilizados.

Tabela 8 - Balanço térmico expositores congelados

Circuito	Designação	Modelo	Dim.	T	Potência /m	Potência total	Potência total
			m	°C	kW	kW	kW
Negativos	Mural Carne Congelada	Coliseum 4 ECO H2.2	3,75	-23°C	0,73	2,74	2,74
	Ilha de Peixe Congelado	AGORA 3 ECO	3,75	-23°C	0,26	0,98	3,25
			3,75	-23°C	0,26	0,98	
			2,50	-23°C	0,26	0,65	
			2,50	-23°C	0,26	0,65	
	Ilha Dupla Congelados I	COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,26	0,53	4,11
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,41	1,03	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,41	1,03	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,41	1,54	
	Ilha Dupla Congelados I	COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,41	1,54	3,60
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,41	1,54	
		COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,26	0,53	
	Ilha Dupla Congelados II	COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,26	0,53	4,11
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,41	1,03	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,41	1,03	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,41	1,54	
	Ilha Dupla Congelados II	COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,41	1,54	3,60
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,41	1,54	
		COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,26	0,53	
	Mural Congelados	AMPLEO	1,56	-23°C	0,65	1,01	6,08
		AMPLEO	3,90	-23°C	0,65	2,54	
		AMPLEO	3,90	-23°C	0,65	2,54	
	Mural Carne Congelada	AMPLEO	3,90	-23°C	0,65	2,54	6,59
		AMPLEO	2,34	-23°C	0,65	1,52	
		AMPLEO	2,34	-23°C	0,65	1,52	
		AMPLEO	1,56	-23°C	0,65	1,01	
							34,09

Tabela 9 - Balanço térmico expositores refrigerados

Circuito	Designação	Modelo	Dim	T	Potência / m	Potência total	Potência total
			m	°C	kW	kW	kW
Positivos	Mural Talho LS	PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	0,72	2,70	16,20
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	0,72	2,70	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	0,72	2,70	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	0,72	2,70	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	0,72	2,70	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	0,72	2,70	
	Vitrine Talho ST	VHF-T-AT	2,50	0°C	0,50	1,25	4,38
		VHF-T-AT	2,50	0°C	0,50	1,25	
		VHF-T-AT	3,75	0°C	0,50	1,88	
	Mural Bacalhau	MCC ASG	1,30	4°C	1,10	1,43	1,43
	Semi Mural Pastelaria	SMFF-H1,2-A1-LS-C	3,75	2°C	0,90	3,38	3,38
	Vitrine Pastelaria ST	VHF-PT-A1-AT	3,12	2°C	0,40	1,25	2,50
			3,12	2°C	0,40	1,25	
	Mural Especialidades FL	PROXIMA VOLUM ID	1,88	4°C	1,37	2,57	23,12
			3,75	4°C	1,37	5,14	
			3,75	4°C	1,37	5,14	
			3,75	4°C	1,37	5,14	
			3,75	4°C	1,37	5,14	
	Vitrine Take Out	VHF-TAKE-OUT-AT	1,88	4°C	0,40	0,75	1,74
			0,97	4°C	0,40	0,39	
			1,50	4°C	0,40	0,60	
	Semi Mural Charcutaria I e II	SMHF-T-H13-LS-P	1,90	2°C	0,90	1,71	33,84
			3,75	2°C	0,90	3,38	
			3,75	2°C	0,90	3,38	
			1,90	2°C	0,90	1,71	
			3,75	2°C	0,90	3,38	
			3,75	2°C	0,90	3,38	
			1,90	2°C	0,90	1,71	
			3,75	2°C	0,90	3,38	
			3,75	2°C	0,90	3,38	

		1,90	2°C	0,90	1,71	
		3,75	2°C	0,90	3,38	
		3,75	2°C	0,90	3,38	
Semi Mural Soluções Refeições	SMHF-T-H13-LS-P	1,90	2°C	0,90	1,71	16,92
		3,75	2°C	0,90	3,38	
		3,75	2°C	0,90	3,38	
		1,90	2°C	0,90	1,71	
		3,75	2°C	0,90	3,38	
		3,75	2°C	0,90	3,38	
Semi Mural Charcutaria	SMHF-T-H13-LS-P	1,90	2°C	0,90	1,71	24,84
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		1,90	2°C	0,90	1,71	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		1,90	2°C	0,90	1,71	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		1,90	2°C	0,90	1,71	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
		2,50	2°C	0,90	2,25	
Vitrine Charcutaria LS	VHF-CH-LS	2,50	2°C	0,40	1,00	6,10
		3,75	2°C	0,40	1,50	
		3,75	2°C	0,40	1,50	
		3,75	2°C	0,40	1,50	
		1,50	2°C	0,40	0,60	
Vitrine Charcutaria ST	VHF-CH-AT	2,50	2°C	0,40	1,00	1,81
		2,02	2°C	0,40	0,81	
Vitrine Charcutaria LS	VHF-CH-LS	1,25	2°C	0,40	0,50	0,86
		0,90	2°C	0,40	0,36	
Mural Margarinas	PROXIMA MODULAR RD	1,88	2°C	1,51	2,83	24,53
		3,75	2°C	1,51	5,66	
		3,75	2°C	1,51	5,66	
		3,75	2°C	1,51	5,66	
		1,88	2°C	1,51	2,83	

			1,25	2°C	1,51	1,89	
Vitrine Take Away	VHF-CH-AT		1,25	2°C	0,40	0,50	2,06
			2,02	2°C	0,40	0,81	
			1,88	2°C	0,40	0,75	
Retrob. Charc.	RTC - SLIM		3,75	2°C	1,56	5,85	5,85
Mural Iogurtes I	PROXIMA MODULAR RD		1,88	2°C	1,51	2,83	60,4
			1,88	2°C	1,51	2,83	
			2,50	2°C	1,51	3,78	
			2,50	2°C	1,51	3,78	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			1,88	2°C	1,51	2,83	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			2,50	2°C	1,51	3,78	
			2,50	2°C	1,51	3,78	
			1,88	2°C	1,51	2,83	
Mural Iogurtes II	PROXIMA MODULAR RD		1,88	2°C	1,51	2,83	33,03
			1,88	2°C	1,51	2,83	
			2,50	2°C	1,51	3,78	
			2,50	2°C	1,51	3,78	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			3,75	2°C	1,51	5,66	
			1,88	2°C	1,51	2,83	
							262,98

#### 4.6.3 Balanço térmico - máquina de gelo

Todos os hipermercados e supermercados são equipados com máquinas de produção de gelo, alimentadas habitualmente pelo circuito de negativos.

Neste caso de estudo foram selecionadas duas máquinas de gelo da marca MAJA modelo RVH2000 CO<sub>2</sub>, exemplificadas na figura 21, que são alimentadas pela central de baixa temperatura. As suas características são as seguintes:

- Produção: 2500 kg/24h;
- Refrigerante: R744;

- Temperatura da água: 16 °C;
- Tipo de Gelo: Escamas;
- Potência Frigorífica Unitária: 14 kW



Figura 21 - Fotografia representativa das duas máquinas de gelo atrás referidas

#### 4.6.4 Balanço térmico - resumo final

Com base nos cálculos parcelares atrás apresentados o balanço térmico final para esta instalação é o representado na tabela 10.

Tabela 10 - Resumo do balanço térmico

Descrição	Consumidores	QT	Dimensões		Potência (kW)
		Módulos	m	m <sup>2</sup>	Total
	Expositores de negativos	26	76		34,09
	Câmaras de negativos	5		156	24,42
	Máquinas de gelo	2			28,8
<b>Potência Frigorífica Total de Negativos</b>		<b>33</b>	<b>76</b>	<b>156</b>	<b>87,31</b>
	Expositores de positivos	92	256		262,98
	Camaras de positivos	12		335	76,77
	Áreas climatizadas	8		532	107,91
	CTR Central negativos				127
<b>Potência Frigorífica Total de Positivos</b>		<b>112</b>	<b>256</b>	<b>867</b>	<b>574,66</b>

Importa aqui referir que, atendendo à solução técnica definida, a condensação do CO<sub>2</sub> da central de negativos é feita através do NH<sub>3</sub> de positivos pelo que importa contabilizar o calor total de rejeição dos compressores da central de negativos no balanço térmico total para seleção da central de positivos.

## 4.7 Dimensionamento dos equipamentos

Neste subcapítulo serão apresentadas as soluções definidas para o dimensionamento dos principais equipamentos da instalação frigorífica.

### 4.7.1 Centrais frigoríficas

Foram selecionadas duas centrais frigoríficas a trabalhar com os fluidos frigorigénios R744/R717, equipadas com compressores BITZER do tipo alternativo semi herméticos nos negativos e compressores do tipo parafusos abertos nos positivos.

As centrais frigoríficas são, na sua generalidade, constituídas pelos seguintes equipamentos:

- Resistência de cárter;
- Variador de velocidade no 1º compressor;
- Adaptador e regulador de nível de óleo;
- Pressostato diferencial de óleo por compressor;
- Painel de instrumentação equipado com:
  - Pressostato alta pressão;
  - Pressostato baixa pressão;
  - Manómetro de alta pressão;
  - Manómetro de baixa pressão;
- Colector de descarga em aço ;
- Colector / Separador anti-golpe de líquido na aspiração, em aço inox;
- "Chassis" metálico pintado;
- Linha de injeção de óleo equipada com filtro de óleo, electroválvula de injeção de óleo e visores de óleo;
- Sistema de separação de óleo composto por separador / depósito de óleo, linha de equalização de pressão com válvula diferencial de pressão e boiadores (um por cada compressor) ou sistema equivalente.

O depósito de líquido da central de negativos, deverá ser construído em chapa própria para recipientes pressurizados com pintura de proteção e equipado com:

- Válvulas de entrada e saída;
- Visor de nível de líquido, do tipo circular em série;
- Alarme de nível baixo ;
- Depósito de líquido: 220 dm<sup>3</sup>
- Válvulas de segurança duplas .

Os compressores foram selecionados para 16-18 horas de funcionamento por dia, nas condições mais rigorosas (verão e forte movimentação dos produtos), possibilitando assim uma perfeita descongelação dos evaporadores/permutadores e evitando sobrecargas de trabalho e consequentemente desgastes e avarias prematuras.

Os compressores de refrigerados devem possuir controlo de capacidade, pilotado por um transdutor de pressão que dará sinal ao sistema de gestão, permitindo assim um grande rigor e estabilidade da pressão/temperatura. O sistema de gestão da central, consoante a pressão no coletor de aspiração, aumentará ou diminuirá a capacidade instantânea.

### **Central de congelados ou negativos:**

Atendendo ao balanço térmico atrás referido, a central de negativos tem as seguintes características, resumidas nas tabelas 11 e 12 e cuja exportação do *software* Bitzer pode ser consultada no anexo C.

Tabela 11 - Tabela resumo da potência frigorífica central de congelados

Central frigorífica de congelados		QT Compressores	Potência unitária kW	Potência total kW	Reserva de potência
Potência total necessária				<b>87,31</b>	
Regime trabalho	(-37°C / -7°C)				
Central negativos	<b>5*4FHC-5K</b>	5	19,96	<b>99,8</b>	14%
Calor total rejeição	(-37°C/-7°C)	5	25,4	<b>127</b>	

Tabela 12 - Tabela resumo das características dos compressores da central de congelados

Central frigorífica de congelados	
Modelo do compressor	4FHC-5K
Temperatura de evaporação	- 37 °C
Temperatura de condensação	- 7 °C
Capacidade frigorífica unitária	19,96 kW
Capacidade do condensador - Unitária	25,4 kW
Número de unidades	5
Capacidade frigorífica total da central	99,8 kW
Capacidade do condensador - Total	127 kW
Fluido frigorigénio	R744 (CO <sub>2</sub> )

A figura 22 representa a central de congelados descrita.





Figura 22 - Fotografia da central de congelados descrita

### **Central de refrigerados ou positivos:**

Atendendo ao balanço térmico atrás referido, a central de positivos tem as seguintes características, resumidas nas tabelas 13 e 14 e cuja exportação do *software Bitzer* pode ser consultada no anexo D.

Tabela 13 - Resumo da potência frigorífica central de refrigerados

Central frigorífica de refrigerados		QT Compressores.	Potência unitária kW	Potência total kW	Reserva potência
Potência total necessária				<b>574,66</b>	
Regime trabalho	(-12,5°C / +45°C)				
Central de positivos	5 * OSKA 7472-K	5	137,6	688	19%
Calor total de rejeição	(-12,5°C/+45°C)	5	156	780	

Tabela 14 - Tabela resumo das características dos compressores da central de refrigerados

Central frigorífica de refrigerados	
Modelo do compressor	OSKA 7472-K
Temperatura de evaporação	- 12,5 °C
Temperatura de condensação	+ 45 °C
Capacidade frigorífica unitária	137,6 kW
Capacidade do condensador - Unitária	156,0 kW
Número de unidades	5
Capacidade frigorífica total	688 kW
Capacidade do condensador - Total	780 kW
Fluido frigorígeno	R717 (NH <sub>3</sub> )

A figura 23 exemplifica a central de refrigerados descrita.



Figura 23 - Fotografia da central de refrigerados descrita

#### 4.7.2 Condensadores

#### 4.7.3 Condensador para o circuito de congelados ou negativos

O CO<sub>2</sub> condensa num permutador de placas através de MEG de acordo com o diagrama de princípio representado na figura 24.

Este condensador tem uma capacidade de 127 kW e é da marca ALFA LAVAL

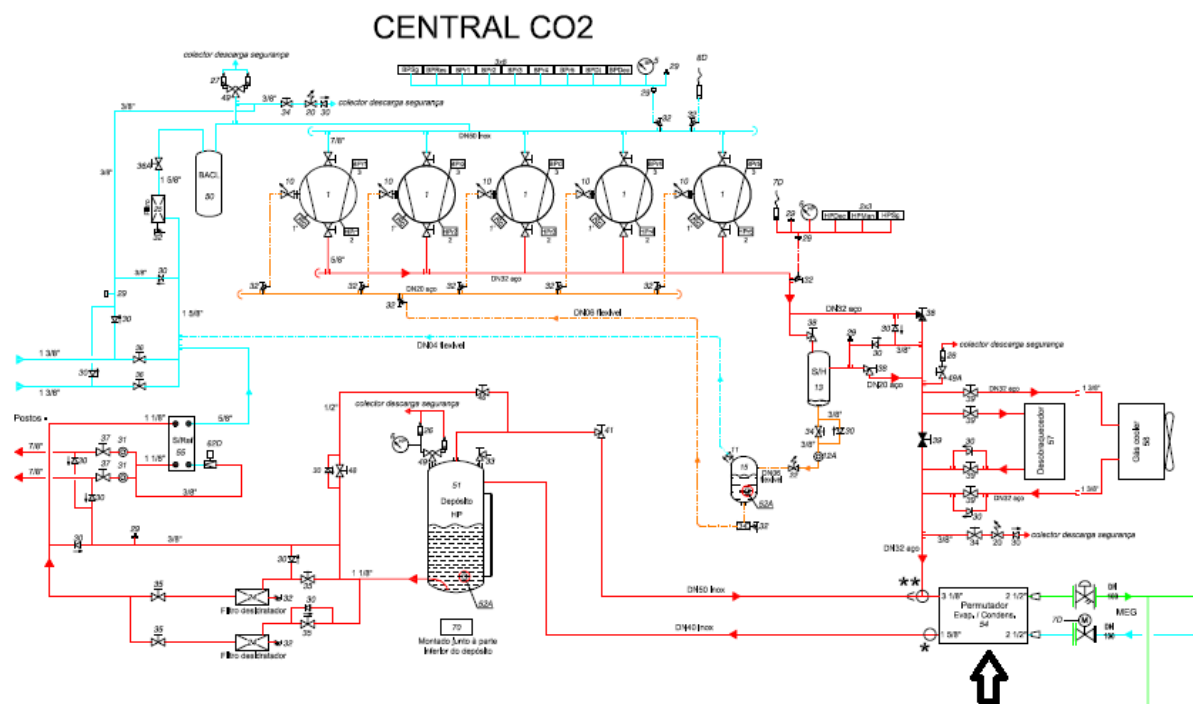


Figura 24 - Diagrama de princípio da central de congelados

Este tipo de condensador encontra-se exemplificado na figura 25.

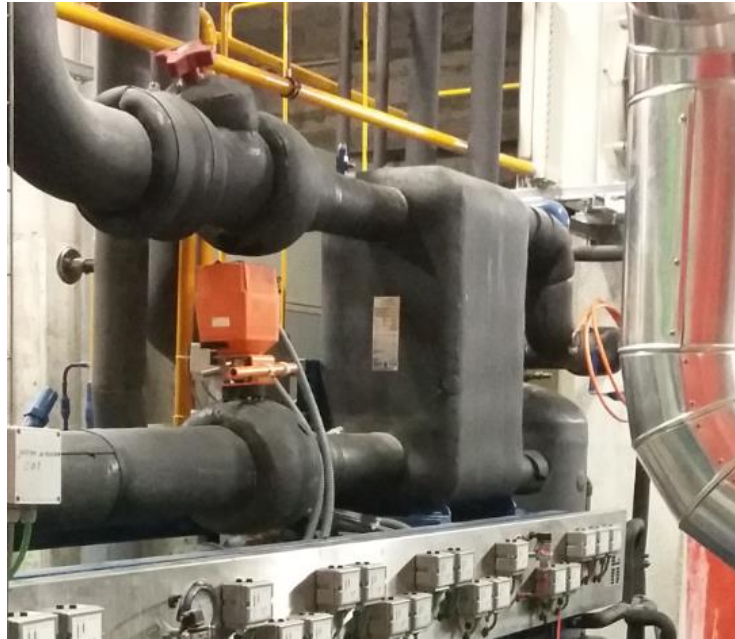


Figura 25 - Fotografia do condensador descrito para a central de congelados

#### 4.7.4 Condensador para o circuito de refrigerados ou positivos

A condensação do  $\text{NH}_3$  é assegurada por água através de permutadores de placas, da marca ALFA LAVAL, que se encontra representado na figura 26. Este permutador tem uma capacidade de 780 kW.

Esta água é arrefecida em *dry-coolers* instalados no exterior.



Figura 26 - Fotografia do condensador descrito para a central de refrigerados

#### 4.7.5 Circuitos de bombagem

A instalação é equipada com dois circuitos de bombagem independentes:

- Um circuito de bombagem para arrefecimento da água glicolada – Chamado circuito de glicol frio;
- Um circuito de bombagem para a água de condensação – Chamado circuito de água de condensação e *dry-coolers*.

#### 4.7.6 Circuito de bombagem de condensação e *dry-coolers*

A circulação da água entre o condensador de positivos (permutador de placas instalado na central de positivos) e os *dry-coolers* instalados no exterior (trocadores de calor água- ar, para arrefecer a água de condensação), será assegurada por uma estação de bombagem com as seguintes características:

Central de bombagem condensação

- Modelo .....GHV30/66SV2 - 1 c/ Hydrovar

- Caudal ..... 190 (m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica.....25 m c.a.

Acessórios:

- Válvula de corte de borboleta ..... 2
- Filtro para retenção de impurezas na aspiração ..... 1
- Amortecedor de vibrações..... 2
- Válvula de retenção de duplo prato, na descarga ..... 1
- Manómetro com válvula de corte..... 1

Esta instalação é equipada com *dry-coolers* a ar, de marca Alfa Laval, modelo VDDRE1007BD144 EC de larga área de permuta, dimensionado para trabalhar com  $\Delta T$  máxima de 10°C. Estes trocadores de calor irão garantir o arrefecimento da água de condensação do NH<sub>3</sub>. Estes *dry-coolers* serão equipados com moto ventiladores com comutação eletrónica, interface de 0 a 10 Volts, interligados ao sistema de controlo da instalação (sistema Adap-Kool da marca Danfoss) por forma a termos um arranque rampeado do tipo "Soft Start". Apresenta-se nas figuras 27 e 28 fotografias do equipamento instalado, assim como, na figura 29 o esquema de princípio.



Figura 27 - Foto dos *dry-coolers* colocados no exterior





Figura 28 - Fotografia da central de bombagem de condensação

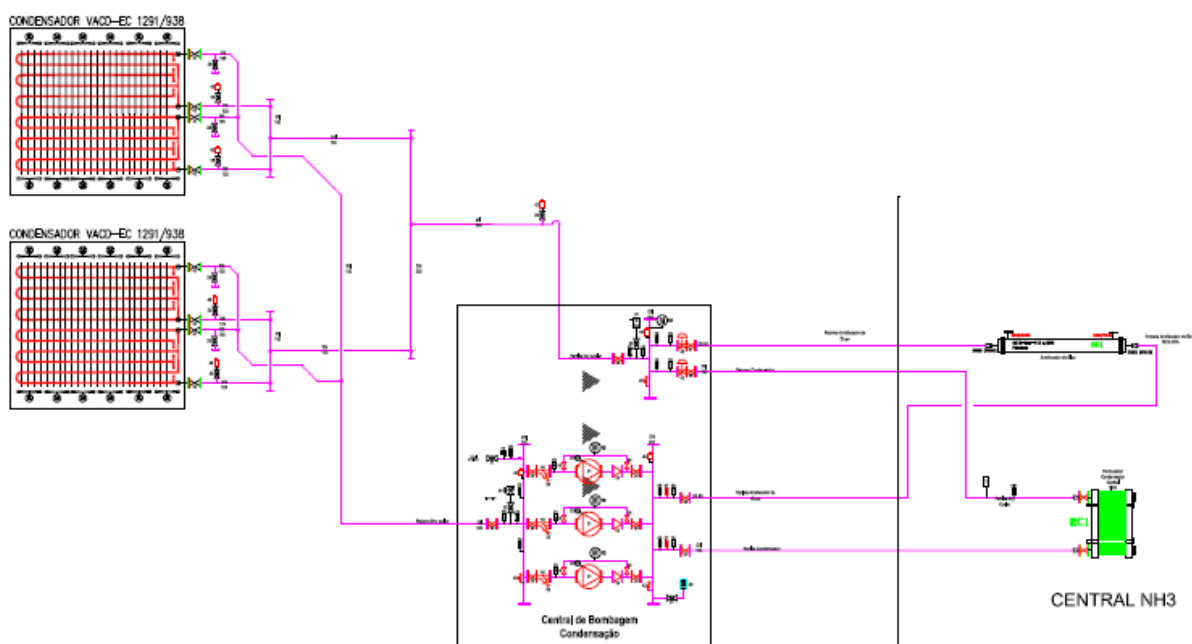


Figura 29 - Esquema de princípio do circuito de condensação

#### 4.7.7 Circuito de bombagem para o arrefecimento de MEG

##### Arrefecedores de água glicolada

Para o arrefecimento da água glicolada está previsto o recurso a 2 arrefecedores do tipo placas “BPHE”, da marca Alfa Laval, cada um com uma capacidade de 287 kW.

Esta água glicolada arrefecida alimentará os postos frigoríficos seguintes, conforme esquema de princípio apresentado na figura 30:

- Móveis de positivos;
- Camaras de positivos;
- Salas de trabalho;
- Condensador da central de negativos.

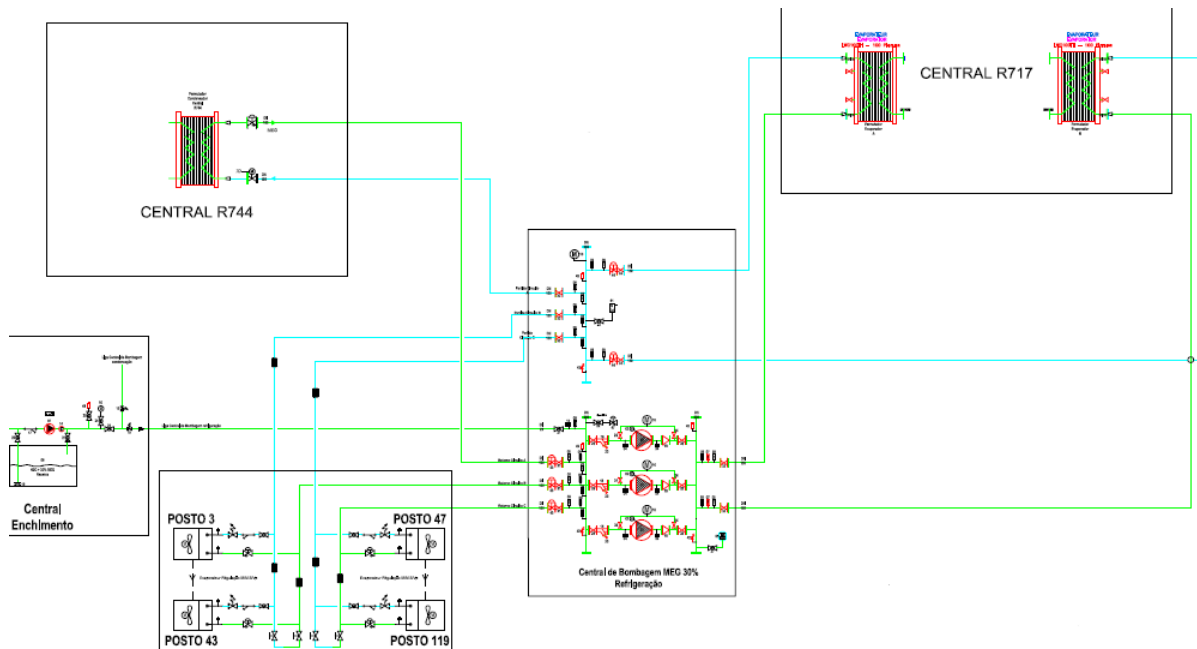


Figura 30 - Esquema de princípio do circuito de glicol frio

A circulação da água a passar nos permutadores acima referidos será assegurada por uma central de bombagem, representada na figura 31, equipada com as seguintes bombas:

- Central de Bombagem Refrigeração – Circuito Glicol Frio
  - Modelo ..... GHV30/66SV2 – 1 c/ Hydrovar
  - Caudal ..... 110 (m<sup>3</sup>/h)
  - Altura manométrica.....35 m c.a.
- Acessórios
  - Válvula de corte de borboleta ..... 2
  - Filtro para retenção de impurezas na aspiração ..... 1
  - Amortecedor de vibrações..... 2
  - Válvula de retenção de duplo prato, na descarga ..... 1
  - Manómetro com válvula de corte..... 1



Figura 31 - Fotografia da central de bombagem de glicol frio

#### 4.7.8 Evaporadores

No caso das câmaras frigoríficas e salas climatizadas optou-se por uma instalação de circulação forçada de ar por frigodifusores, com superfícies de permuta, diferenciais de temperatura e caudais de ar que possibilitem uma homogeneidade de temperaturas e humidades relativas convenientes à boa armazenagem dos produtos, com perdas mínimas em peso e variação nula ou desprezível da cor e aspeto dos mesmos. Os frigodifusores a seleccionar são do tipo de circulação forçada de ar com excepção dos da câmara frigorífica de peixe, que será estático.

A descongelação dos frigodifusores das câmaras frigoríficas e expositores refrigerados com temperaturas entre 0 °C e 1 °C será por resistências elétricas e por recirculação de ar nas restantes câmaras frigoríficas de refrigerados. Os frigodifusores seleccionados são da marca Centauro, com baterias preparadas para trabalhar com monoetilenoglicol, a bateria será em tubo de cobre eletrolítico e alhetas em alumínio. Os ventiladores terão grelhas de proteção e um caudal de projecção de ar de modo a garantir a sua correta recirculação e distribuição. Terão, cada um, uma válvula de solenoide de injeção de líquido, válvulas de corte nas linhas de ida e retorno de água glicolada, filtro de rede e válvula de regulação de caudal. No caso das câmaras de congelados os evaporadores seleccionados serão também da marca Centauro, com baterias em tubo de cobre eletrolítico e alhetas em alumínio. Os ventiladores têm grelhas de proteção e um caudal de projecção de ar de modo a garantir a sua correta recirculação e distribuição. Os evaporadores das câmaras de congelados terão descongelação elétrica. Terão, cada um, uma válvula de expansão eletrónica (AKV) de injeção de líquido, filtro secador, válvulas de corte nas linhas de aspiração e de líquido. Os esgotos, executados em tubo de cobre ou aço inox, serão devidamente isolados e com resistências anti congelação até ao exterior de cada câmara frigorífica.



#### 4.7.9 Equipamentos de segurança na casa de máquinas

O  $\text{NH}_3$  é um refrigerante de uma elevada eficiência, mas o manuseamento de instalações com  $\text{NH}_3$  deve ser acompanhado de medidas de segurança para evitar possíveis riscos para a saúde em caso de fugas.

Os critérios a respeitar neste tipo de instalações são:

- Armazenamento máximo dentro da casa de máquinas de uma quantidade de refrigerante não superior a 20% da carga da instalação;
- Ventilação forçada, de tal modo que os ventiladores tenham um caudal mínimo determinado pela equação 4.2. Trata-se de uma fórmula empírica.

$$Q = 50 \times P^{\frac{2}{3}} \quad (4.2)$$

Onde:

Q representa o caudal de ar do ventilador, em l/s;

P, a carga de refrigerante em kg.

- Instalação de detetores de fugas, em zonas onde exista a máxima carga de fluido frigorigénio, para avisar, de forma visível e audível, a existência de qualquer fuga;
- Instalação de lava-olhos e duches de emergência;
- Instalação de tanques de lavagem do  $\text{NH}_3$



## 5 Dimensionamento de uma instalação de refrigeração comercial convencional

### 5.1 Definição de instalação “convencional”

Entende-se neste projeto a definição de instalação frigorífica convencional, como sendo uma instalação frigorífica considerando a filosofia de refrigeração *standard* atualmente a mais usada, ou seja, instalações frigoríficas que não têm em conta todos os aspetos evidenciados no subcapítulo 4.5 e que ainda fazem recurso aos fluidos frigorigénios sintéticos de elevados ODP e GWP

### 5.2 Características e dimensionamento da instalação convencional

Utilizando este mesmo desenho de *lay-out* de hipermercado, com todos os consumidores anteriormente definidos no ponto 4.2, quer a nível de câmaras quer a nível de móveis, e considerando a filosofia de refrigeração *standard* ou convencional atualmente em utilização, ter-se-ia uma loja com as seguintes características:

Câmaras frigoríficas utilizando os níveis de isolamento *standard* ou seja:

- Câmaras de congelados: 120 mm de espessura em painel de poliuretano;
- Câmaras de refrigerados e salas de trabalho: 60 mm de espessura em painel de poliuretano;
- Câmaras com iluminação fluorescente.

Expositores frigoríficos das marcas anteriormente definidas, mas na sua versão *standard*, ou seja:

- Vitrinas sem portas traseiras;
- Murais apenas com cortinas noturnas;
- Todos os expositores com iluminação fluorescente;
- Ventiladores *standards*;
- Inexistência de controlo de pressões flutuantes e inexistência de variadores de frequência.

Fluidos frigorigénios a utilizar:

Os fluido frigorigénios a utilizar serão o R404A para circuito de negativos e R134A para circuito de positivos.

Com estas premissas, o novo balanço térmico da instalação pode ser consultado posto a posto no anexo G e H, e resulta nos valores expressos na Tabela 15.

Tabela 15 - Balanço térmico da instalação frigorífica convencional

<b>SOLUÇÃO CONVENCIONAL</b>					
<b>BALANÇO TERMICO - RESUMO</b>					
Descrição	Consumidores	QT	Dimensões		Potência
		Módulos	m	m <sup>2</sup>	kW
	Expositores negativos	26	76		52,38
	Câmaras de negativos	5		156	25,30
	Máquinas de gelo	2			28,80
<b>Potência frigorífica total de negativos</b>		<b>7</b>	<b>76</b>	<b>156</b>	<b>106,48</b>
	Expositores positivos	92	256		304,55
	Camaras de positivos	12		335	79,30
	Áreas climatizadas	8		532	113,95
	CTR Central negativos				195,00
<b>Potencia frigorífica total de positivos</b>		<b>112</b>	<b>256</b>	<b>867</b>	<b>692,80</b>

Com estas novas necessidades frigoríficas tem-se que redimensionar toda a instalação frigorífica:

- Novas centrais frigoríficas adequadas às novas necessidades de frio;
- Novos condensadores adequados às novas potências instaladas;
- Adequar os modelos de evaporadores para as novas necessidades térmicas de cada câmara frigorífica;
- Redimensionar todas as linhas de líquido, aspiração dos circuitos frigoríficos.

Restringindo a análise apenas às centrais frigoríficas, que são os equipamentos com maior relevância no consumo energética da instalação, mais concretamente ao seu dimensionamento, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Dimensionamento da central de congelados e refrigerados numa solução *standard*

Central frigorífica de congelados		QT compr.	Potência unit	Potência total	Reserva
			kW	kW	
Potência total necessária				<b>106,48</b>	
Regime trabalho	(-37,5°C / +45°C)				
Central negativos	5*6FE-44Y	5	21,3	<b>106,50</b>	0%
Potência absorvida		5	17,69	<b>88,45</b>	
Calor total de rejeição	(-37,5°C/+45°C)	5	39	<b>195,00</b>	
Central frigorífica de refrigerados		QT compr.	Pot unit	Pot total	Reserva
			kW	kW	
Potência total necessária				<b>692,80</b>	
Regime trabalho	(-12,5°C / +45°C)				
Central de positivos	5 * OSKA 8591-K	5	156,1	780,50	13%
Potência absorvida		5	73,1	<b>365,50</b>	
Calor total de rejeição	(-12,5°C/+45°C)	5	228	1140,00	

No anexo E e F poder-se-á analisar as características técnicas dos compressores seleccionados para cada central frigorífica acima referida, retirados do *software da Bitzer*.



## **6 Comparação entre consumos das centrais frigoríficas da instalação verde e da instalação convencional**

A análise comparativa entre as duas instalações frigoríficas referidas nos capítulos anteriores vai-se reportar apenas às centrais frigoríficas, pois são o órgão motor de toda uma instalação frigorífica, sendo os equipamentos de maior importância, quer pela sua complexidade, pelo seu avanço, quer pelos seus níveis de consumos energéticos. Os consumos energéticos dos compressores representam 72% do consumo energético de uma instalação frigorífica pelo que estes são os principais órgãos contribuintes para a performance de uma instalação.

As centrais frigoríficas dimensionadas para a instalação frigorífica convencional do capítulo 5, têm maiores potências frigoríficas e consequentemente maior consumo energético face ao analisado no capítulo 4, capítulo referente à instalação frigorífica verde.

Com base no mapa comparativo mostrado na Tabela 6, pode-se observar que a utilização dos vários conceitos de melhorias enunciados no subcapítulo 4.4 e aplicados em obra, traduzem-se numa redução energética muito significativa, ou seja:

### **Central de negativos:**

- Potência frigorífica – Solução verde consome menos 6,7 kW;
- Potência absorvida – Solução verde consome menos 61,5 kW.

### **Central de positivos:**

- Potência frigorífica – Solução verde consome menos 92,5 kW;
- Potência absorvida – Solução verde consome menos 73,5 kW.

Tabela 17 - Tabela comparativa de consumos entre centrais frigoríficas para a solução verde e para a solução convencional

Solução verde			Solução convencional			Diferenças de consumo	
Central frigorífica de negativos		Potência kW	Central frigorífica de negativos		Potência kW	Pot. kW	%
Potência total necessária		<b>87,31</b>	Potência total necessária		<b>106,48</b>		
Regime trabalho	(-37°C / -7°C)		Regime trabalho	(-37°C / +45°C)			
Central negativos	5*4FHC-5K	<b>99,8</b>	Central negativos	5*6 FE-44 Y	<b>106,5</b>	6,7	6,7%
Potência absorvida		<b>27,3</b>	Potência absorvida		<b>88,45</b>	61,5	224, %
Calor total rejeição	(-37°C/-7°C)	<b>127</b>	Calor total rejeição	(-37°C/-7°C)	<b>195</b>		
Central frigorífica de positivos		Potência kW	Central frigorífica de positivos		Potência kW		
Potência total necessária		<b>574,66</b>	Potência total necessária		<b>692,8</b>		
Regime trabalho	(-12,5°C/ +45°C)		Regime trabalho	(-12,5°C/+45°C)			
Central de positivos	5 * OSKA 7472	<b>688</b>	Central de positivos	5 * OSKA 8591	<b>780,5</b>	92,5	13,4%
Potência absorvida		<b>292</b>	Potência absorvida		<b>365,5</b>	73,5	25,2%
Calor total rejeição	(-12,5°C/+45°C)	<b>780</b>	Calor total rejeição	(-12,5°C/+45°C)	<b>1140</b>		

O mapa comparativo indicado na tabela 17, contempla apenas os consumos relativo às centrais frigoríficas (equipamentos de maior revelo numa instalação frigorífica) cujos consumos energéticos totais se encontram resumidos na tabela 18.

Tabela 18 - Resumo dos consumos entre centrais frigoríficas para a instalação verde e a instalação convencional

	Consumo energético		Diferença de consumo
	Convencional	Verde	
	kWh	kWh	kWh
Instalação positivos	365,3	292	
Instalação negativos	88,45	27,3	
total	435,95	319,3	134,65

Esta análise é a de maior impacto para o consumo total das instalações frigoríficas, pois é o resultado de várias escolhas ou definições anteriormente feitas para a seleção dos vários equipamentos, que levam à definição da central frigorífica com capacidade para responder à instalação em causa.

Assim, a solução verde apresenta uma redução de 29,7 % (134,65 kW) no consumo energético das centrais frigoríficas, face à solução encontrada para as centrais frigoríficas da instalação convencional.

Para dar visibilidade aos benefícios ambientais desta instalação verde, fez-se uma estimativa da redução das emissões de carbono. Para efeitos de contabilização de intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, e de acordo com o definido na portaria nº



63/20118 de 21 Janeiro, 1ª série, considera-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é de 0,47 kg CO<sub>2</sub> e/kWh

Considerando o funcionamento diário dos compressores durante 16 horas, conclui-se que a instalação frigorífica verde consegue uma redução anual na emissão de CO<sub>2</sub> de 369 toneladas, face à instalação frigorífica convencional, como pode ser constatado na tabela 19.

Tabela 19 - Comparação de consumos energéticos e emissões de CO<sub>2</sub> entre as instalações frigoríficas em análise

Consumo energético em kWh (Instalação convencional)				Consumo energético em kWh (Instalação verde)			
	hora	dia (16 h)	ano ( 365 dias)		hora	dia (16 h)	ano ( 365 dias)
Negativos	88,45	1 415,20		Negativos	27,30	436,80	
Positivos	365,50	5 848,00		Positivos	292,00	4 672,00	
Total	453,95	7 263,20	2 651 068,00	Total	319,30	5 108,80	1 864 712,00
Emissão CO <sub>2</sub> : 0,47 kgCO <sub>2</sub> /kWh				Emissão CO <sub>2</sub> : 0,47 kgCO <sub>2</sub> /kWh			
CO <sub>2</sub>	213,36	3 413,70	1 246 001,96	CO <sub>2</sub>	150,07	2 401,14	876 414,64
<b>Redução nas emissões de CO<sub>2</sub> de</b>				<b>369 587,32 kgCO<sub>2</sub></b>			



## 7 Análise ao projeto com a utilização de painéis VIP

O desenvolvimento de instalações frigoríficas com soluções verdes começa agora a ser um conceito interiorizado pelos projetistas. Cada vez mais se veem instalações frigoríficas de congelados em que o fluido frigorigénio é o CO<sub>2</sub> em regime sub-crítico, com recuo para a utilização do R404A.

A nível de refrigerados, o uso de R134A está já muito enraizado e soluções com fluidos secundários, como a água glicolada, também são uma alternativa já muito difundida.

Neste aspeto, e tendo o projeto já versado uma solução verde no que diz respeito aos fluidos frigorigénios, uma das soluções ou perspetivas futuras de solução de inovação e economia de energia seria o recurso a soluções de isolamento térmico para as câmaras frigoríficas através de materiais mais eficientes, como sendo o uso de painéis isotérmicos de vácuo.

A comunidade científica tem-se empenhado em desenvolver novas tecnologias e novos materiais isolantes aplicáveis na indústria. Um destes exemplos são os VIP ( *Vacuum Insulated Panel* ), com foto na figura 32. Estes painéis são uma forma de isolamento térmico constituído por um involucro estanque em torno de um núcleo onde foi efetuado vácuo. São usados em todas as aplicações onde se possa proporcionar um melhor desempenho de isolamento térmico.

Esta solução não está ainda em aplicação prática comercial devido às dificuldades de operação e montagem e à fragilidade no seu manuseio, pois basta uma pequena perfuração no painel para o inutilizar.

Devido ao seu muito baixo coeficiente de condutibilidade térmico este desenvolvimento de produto tem um potencial enorme.

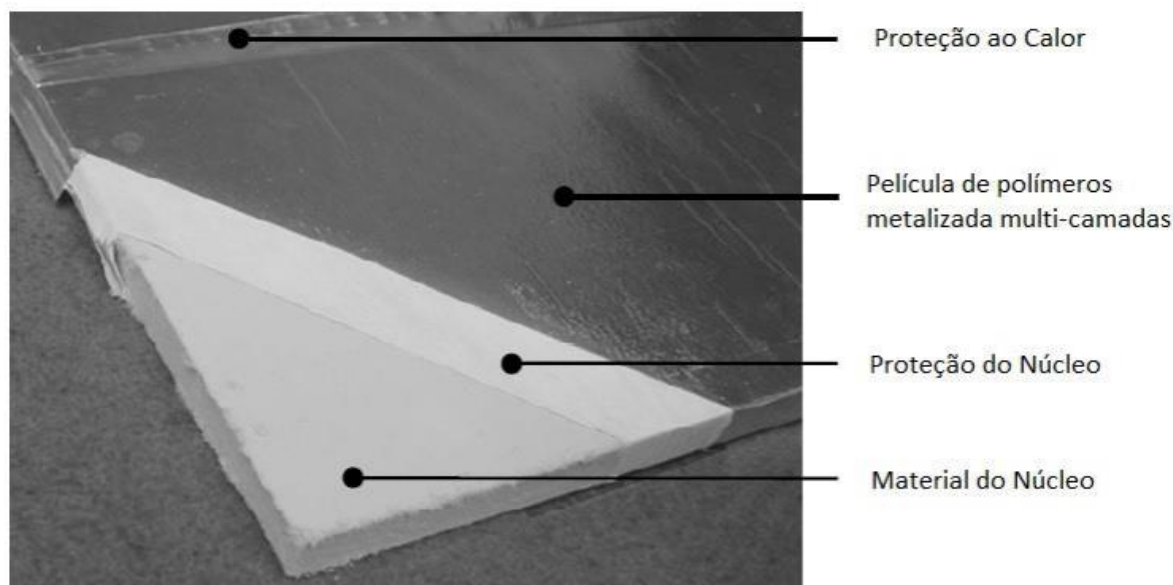


Figura 32 - VIP ( *Vacuum Insulated Panel* )

Na figura 33 pode-se comparar as espessuras para diferentes isolantes que serão necessárias para se obter a mesma resistência térmica.

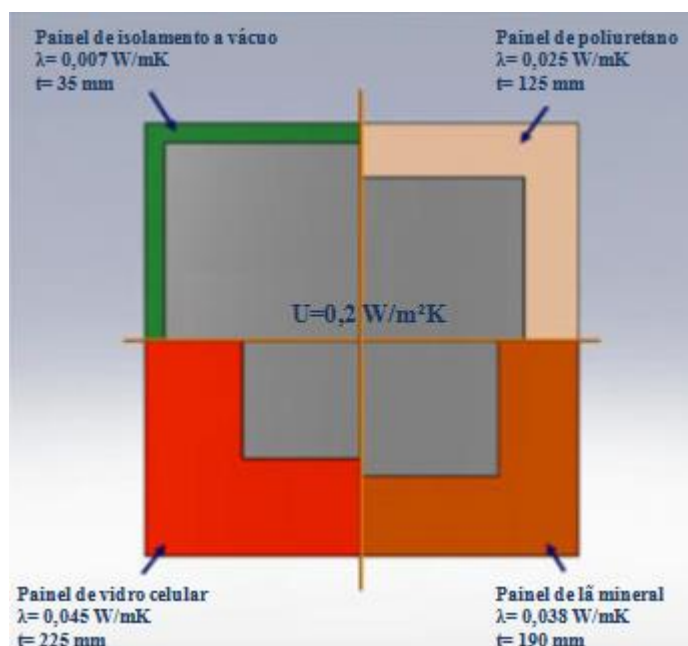


Figura 33 - Comparação de espessuras e isolantes

No caso de estudo apresentado neste trabalho, a aplicação de painéis de vácuo terá um grande impacto na contabilização da potência frigorífica.

Ao nível das principais evoluções feitas para reduzir os consumos de energia, as mesmas centraram-se muito nos expositores frigoríficos e centrais frigoríficas. No caso dos isolamentos térmicos aplicados nas câmaras frigoríficas não existem, neste momento, em comercialização grandes soluções que levem à redução de energia.

As câmaras frigoríficas no projeto verde consomem na sua totalidade 24,42 kW em congelados, 76,77 kW em refrigerados e 107,91 kW em salas climatizadas.

Estas potências foram calculadas tendo por base que os isolamentos térmicos são painéis isotérmicos de poliuretano com um coeficiente de condutibilidade térmica de 0,023 W/mK (Coldkit, 2010).

Fazendo o mesmo exercício mas utilizando painéis VIP com um coeficiente de condutibilidade térmica de 0,007 W/mK, as novas necessidades frigoríficas seriam de 18,47 kW para câmaras de congelados, 58,08 kW para câmaras de refrigerados e 81,63 kW para salas climatizadas.

A tabela 20, apresenta as necessidades frigoríficas para o presente projeto com a utilização de painéis isotérmicos de poliuretano e a respetiva redução de consumo frigorífico caso se utilizem na construção das câmaras frigoríficas os VIP.

Tabela 20 - Tabela de necessidades frigoríficas para o presente projeto utilizando painéis de poliuretano e painéis de vácuo

**BALANÇO TÉRMICO UTILIZANDO ISOLAMENTO TERMICO EM Pu / VIP**

Consumidores		Necessidade frigorífica solução c/ Pu	Necessidade frigorífica solução C/ VIP	Redução consumo frigorífico	
		kW	kW	kW	%
	Expositores negativos	34,09	34,09		
	Camaras negativas	<b>24,42</b>	<b>18,47</b>		
	Máquinas de gelo	28,8	28,8		
<b>Potência Frigorífica Total Negativos</b>		<b>87,31</b>	<b>81,37</b>	<b>5,95</b>	<b>6,8 %</b>
	Expositores positivos	262,98	262,98		
	Camaras positivas	<b>76,77</b>	<b>58,08</b>		
	Áreas climatizadas	<b>107,91</b>	<b>81,63</b>		
	CTR Central negativos	127	127		
<b>Potência Frigorífica Total Positivos</b>		<b>574,66</b>	<b>529,69</b>	<b>44,97</b>	<b>7,8 %</b>

A utilização deste tipo de isolamento térmico face aos habituais painéis isotérmicos de poliuretano representa uma redução de 24% na potência frigorífica associada às câmaras.

Dependendo do peso que a carga térmica das câmaras frigoríficas representa na instalação, esta aplicação será uma mais valia muito importante a considerar, tanto maior, quanto maior for o peso das câmaras frigoríficas na instalação.



## 8 Conclusão e trabalhos futuros

Com este trabalho fica comprovado que uma instalação frigorífica verde, quando comparada com uma instalação frigorífica convencional, é uma solução de maior eficiência energética, pois consome menos energia, sendo também uma instalação com menores emissões de CO<sub>2</sub>.

A instalação frigorífica verde é também uma instalação com maiores benefícios ambientais, na medida em que utiliza os “bons” fluidos, ou seja, amigos do ambiente, com menor influência sobre a camada de ozono e sobre o potencial de aquecimento global

Efetivamente só foram apontadas neste trabalho as vantagens deste projeto a nível técnico, eficiência energética, orientação verde, mas não se pode esquecer a parte económica.

Não estando neste âmbito o estudo económico deste projeto, é contudo interessante fazer uma análise do *payback*, ou seja, o tempo de amortização do investimento.

Tendo em conta que o tempo médio de vida de um hipermercado é 15 anos, e que a poupança energética anual é significativa, expecta-se que a amortização do investimento estará concluída ao fim dos primeiros anos. No entanto a confirmação poderá ser realizada num novo trabalho.





## 9 Referências

ADENE, e DGEG. (2010). Guia da Eficiência Energética (pp. 84).

Ananthanarayanan, P. N. (2006). Basic Refrigeration and Air Conditioning: Tata McGraw-Hill Publishing Company.

Barreras, A. L. M. M., P. R. (2004). Fluidos frigoríficos.

Batle, G. R. (2010). Estudio y diseño de una instalación frigorífica que utiliza CO<sub>2</sub> como refrigerante en régimen subcrítico. Master, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.

Bitzer (2013), Documento técnico de apresentação sobre o tema Application of natural refrigerants, Matosinhos, Portugal.

Coldkit (2010), Documento técnico N° 002/5.

Danfoss (2012), obtido a 12 de Maio de 2012, de Danfoss; <http://www.danfoss.com/>.

EDP (2006). Guia Prático da Eficiência Energética (pp. 44): Energia de Portugal S.A.

López, R. G. (2005). Frío Industrial - Mantenimiento y servicios a la producción: Marcombo, S.A.

MMA. (2007). Uso de Fluidos Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar-condicionado. PNUD e pela Agência Alemã de Cooperação Técnica, São Paulo, Brasil.

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues (Vol. 24, pp. 377-390). Great Britain Department of Resource and Environmental Planning.

Rhiemeier, J. M., Harnisch, J., & Ters, C. (2009). Comparative Assessment of the Climate Relevance of Supermarket Refrigeration Systems and Equipment (pp. 270): Federal Ministry of the Environment. Germany

Singh, R. P. & Heldman, D. R. 2001. Introduction to food engineering. Third edition. Academic Press, San Diego.

ANEXO A

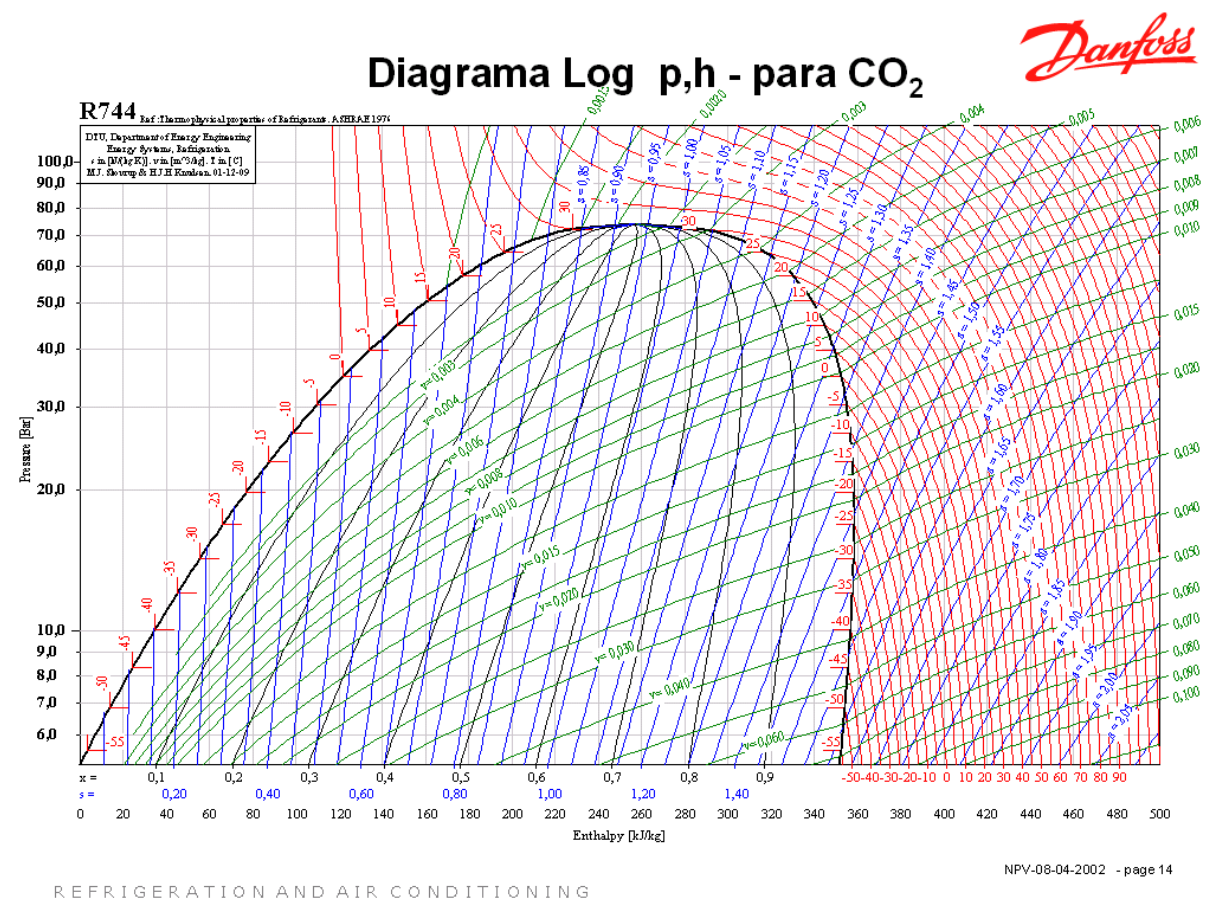


Figura 34 - Diagrama pressão – Entalpia para o CO<sub>2</sub>



ANEXO B

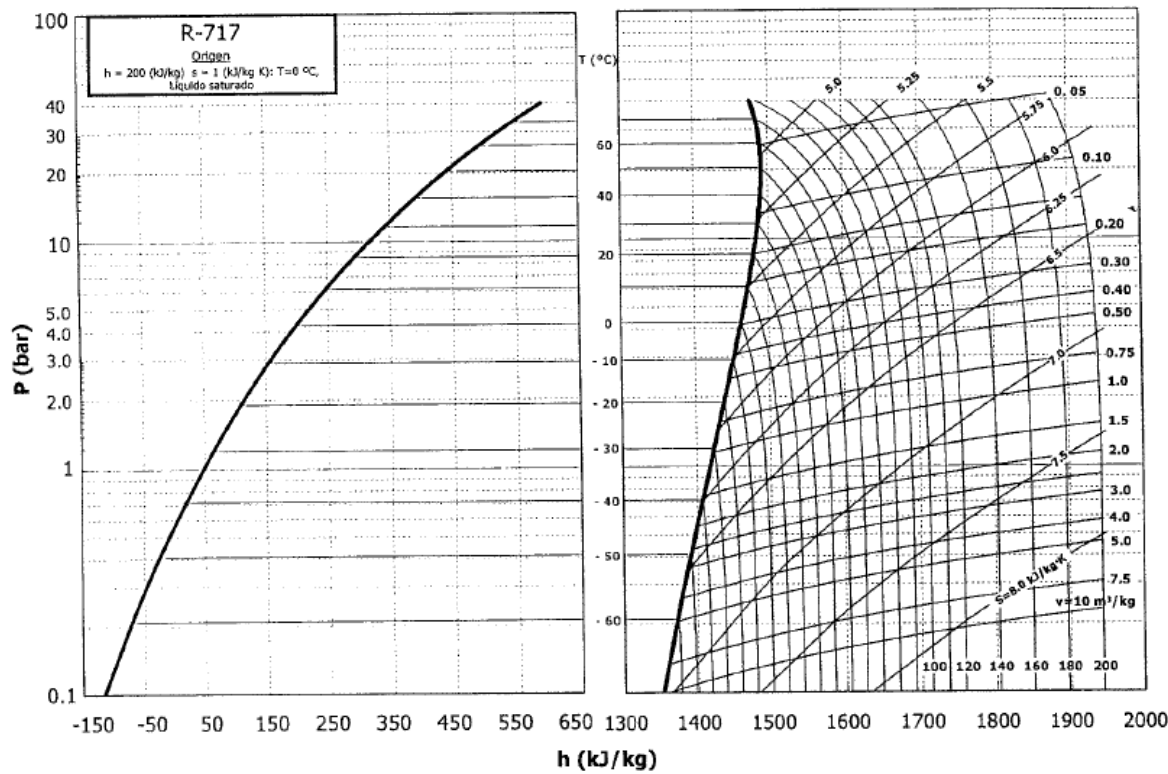


Figura 35- Diagrama de Mollier para NH3 (R717).



## ANEXO C

Características técnicas dos compressores da central de negativos retiradas do *software* de seleção Bitzer para uma solução verde

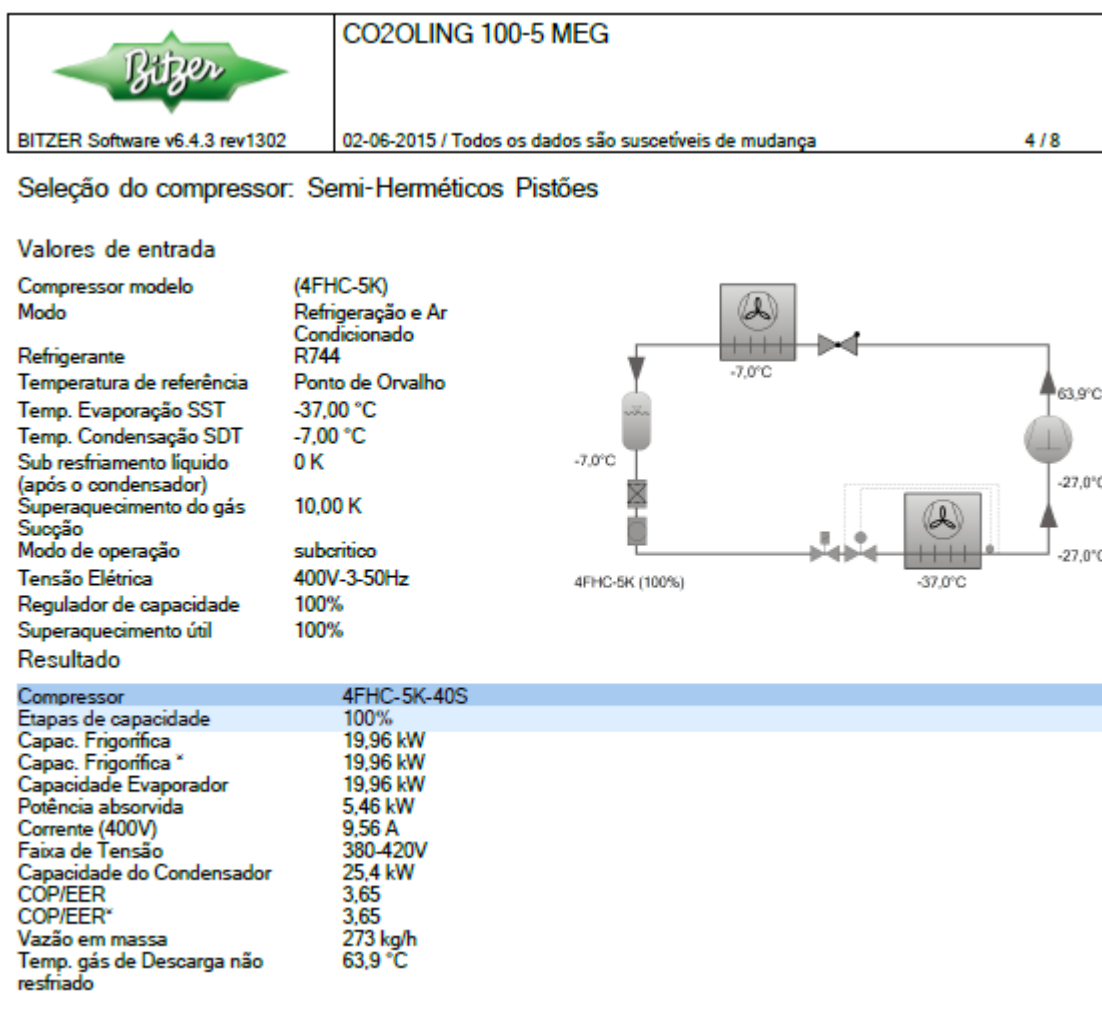


Figura 36 - *Software* Bitzer – compressor 4FHC-5.





## ANEXO D

Características técnicas dos compressores da central de positivos retirados do *software* de seleção Bitzer para a solução verde

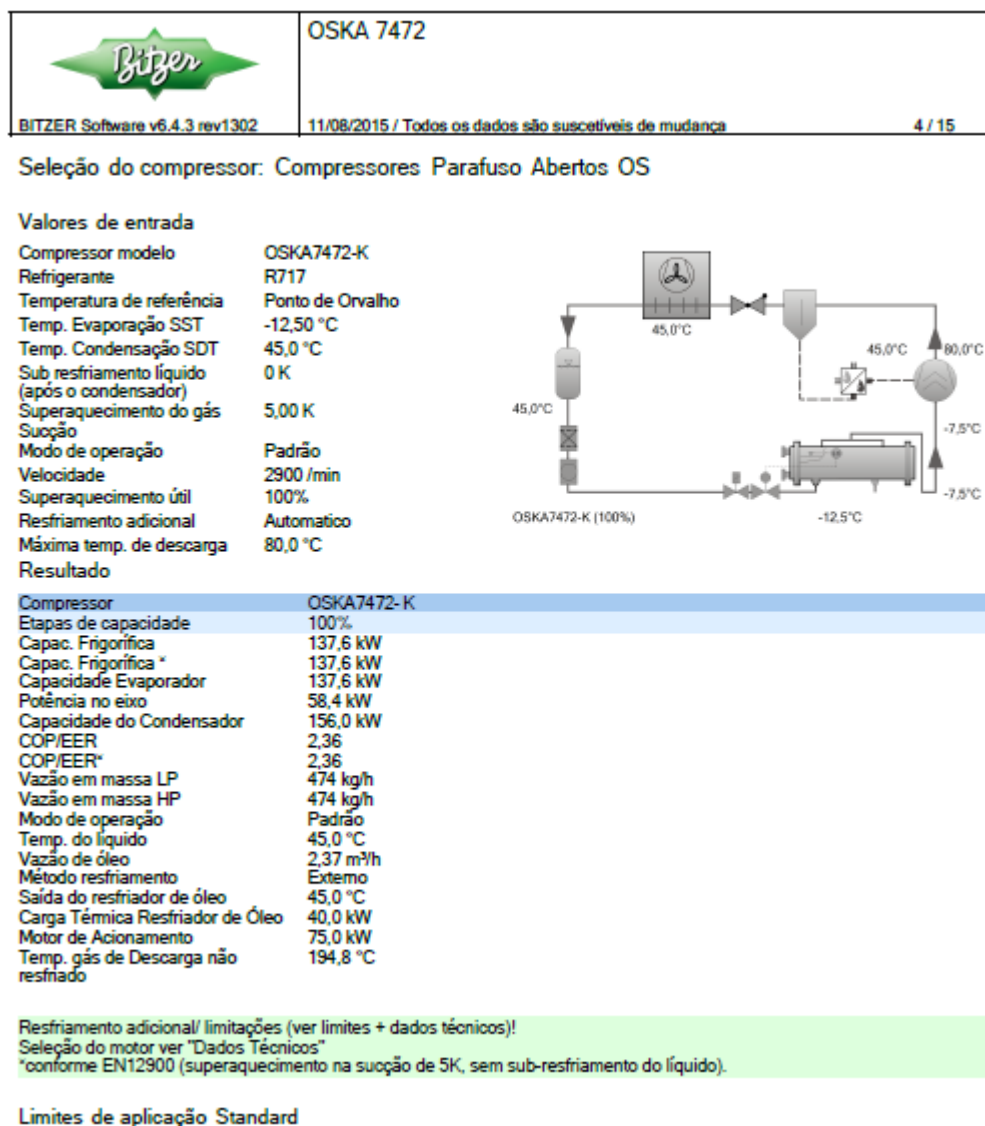


Figura 37 - *Software* Bitzer – compressor OSKA 7472.



## ANEXO E

Características técnicas dos compressores da central de negativos retirados do *software* de seleção Bitzer para uma solução convencional

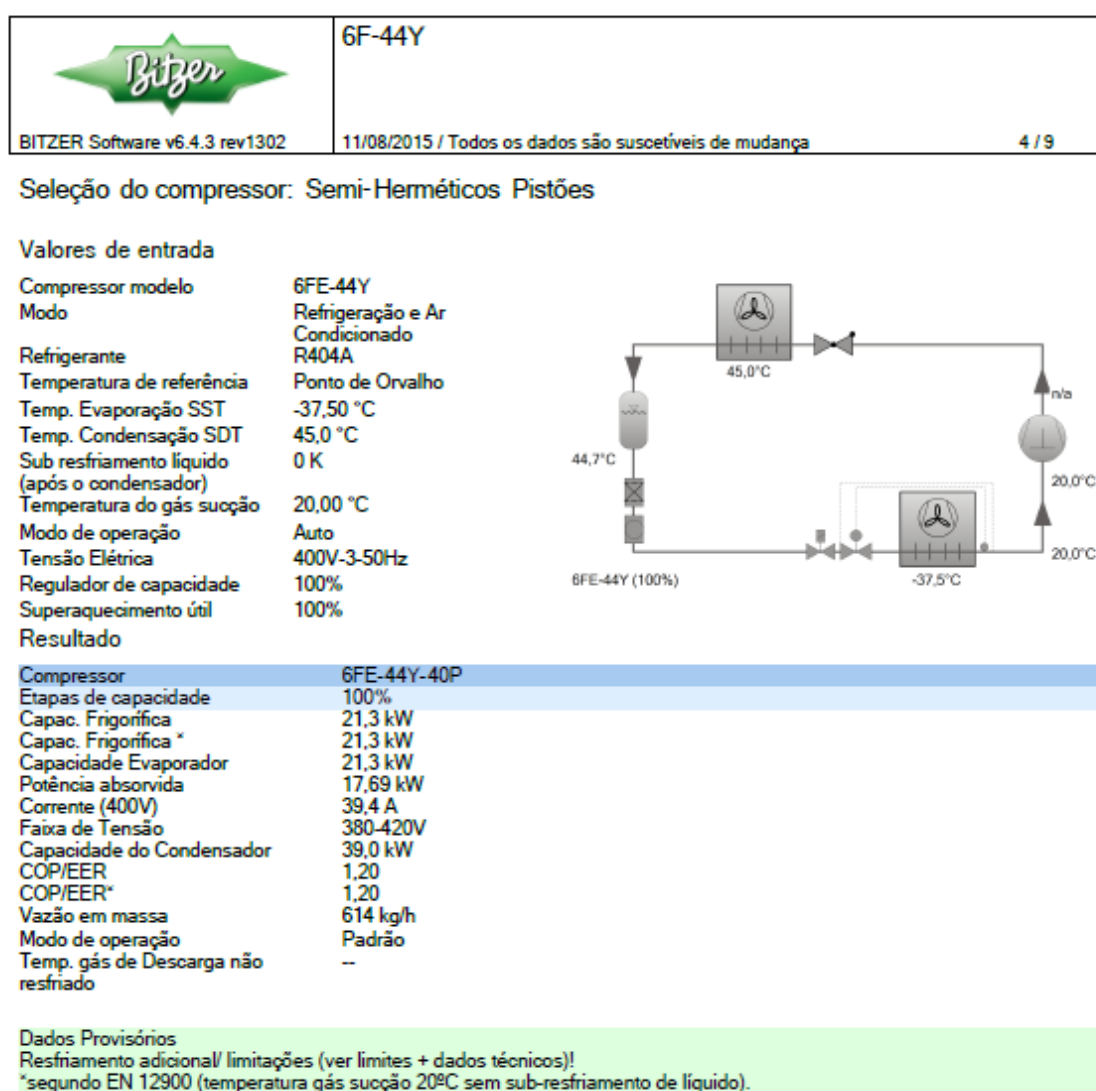


Figura 38 - *Software* Bitzer – compressor 6FE – 44Y.



## ANEXO F

Características técnicas dos compressores da central de positivos retirados do *software* de seleção Bitzer para a solução convencional

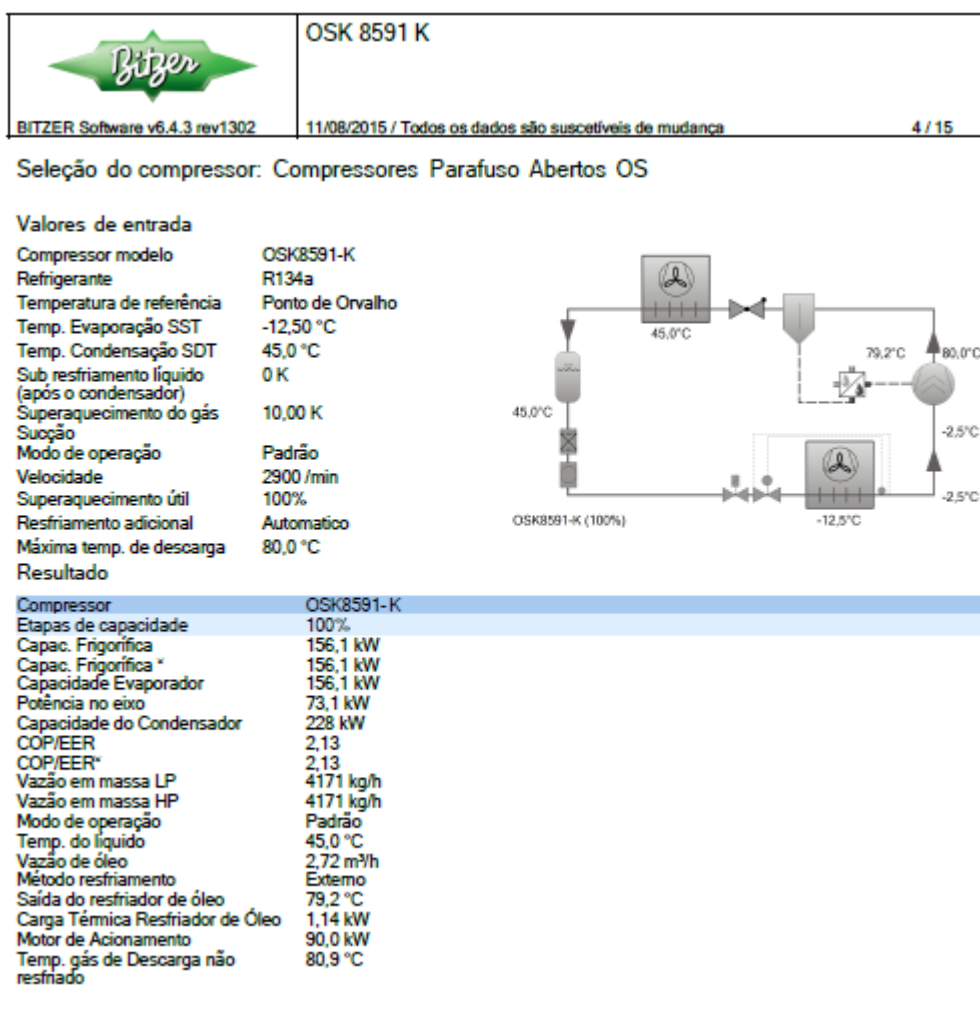


Figura 39 - *Software* Bitzer – compressor OSK 8591.



## ANEXO G

### Balanço térmico da instalação convencional – Câmaras frigoríficas

Tabela 21 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para câmaras de congelados

#### Balanço térmico câmaras congelados

Circuito	Designação	Dimensões úteis					T <sup>a</sup>	Potência total
		C (m)	L (m)	A (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	°C	kW
Congelados	C.C Take Away	5,20	5,20	2,50	27,00	67,60	-23°C	4,65
	C.C. Geral	9,93	7,12	2,50	70,70	176,80	-23°C	9,68
	C.C. On -Line	2,54	1,92	2,50	4,90	12,20	-23°C	1,59
	C.C. Padaria	4,40	3,60	2,50	15,80	39,60	-23°C	3,28
	C.C. Geral	5,25	7,15	2,50	37,50	93,80	-23°C	6,10
								25,30

Tabela 22 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para câmaras de refrigerados

#### Balanço térmico câmaras refrigerados

Circuito	Designação	Dimensões úteis					T <sup>a</sup>	Potência total
		C (m)	L (m)	A (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	°C	kW
Refrigerados	C.R. Devoluções	2,20	7,50	2,50	16,50	41,25	0	5,10
	C.R. Talho	9,20	10,48	2,50	96,42	241,04	-1	18,50
	C.R. Queijos	7,04	4,60	2,50	32,38	80,96	2	6,90
	C.R.Charcutaria	4,74	4,60	2,50	21,80	54,51	2	4,90
	C.R.Aves	5,25	3,60	2,50	18,90	47,25	-1	5,10
	C.R.Talho	5,25	3,33	2,50	17,48	43,71	-1	4,60
	C.R. On-Line	2,34	4,80	2,50	11,23	28,08	0	3,60
	C.R. Bacalhau	4,74	4,80	2,50	22,75	56,88	2	7,20
	C.R.Peixe	4,22	4,47	2,50	18,86	47,16	-1	4,90
	C.R.Lacticínios	10,05	5,16	2,50	51,86	129,65	2	10,20
	C.R.On-Line	2,58	2,82	2,50	7,28	18,19	0	2,70
	C.R. Padaria	4,49	4,39	2,50	19,71	49,28	0	5,60
								79,30

Tabela 23 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para áreas climatizadas

**Balanço térmico áreas climatizadas**

Circuito	Designação	Dimensões úteis					T <sup>a</sup>	Potência total
		C (m)	L (m)	A (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	°C	kW
Refrigerados zonas climatizadas	Corredor Climatizado	3,36	18,32	3,00	61,56	184,67	12	13,20
	Prep. Charcutaria	6,40	3,60	3,00	23,04	69,12	12	5,00
	Prep. Talho	6,44	3,60	3,00	23,18	69,55	12	5,20
	Buffer	24,31	8,28	3,00	201,29	603,86	12	45,00
	Prep. Peixe	3,60	4,41	3,00	15,88	47,63	12	3,95
	SAS On - Line	15,00	4,90	3,00	73,50	220,50	12	16,10
	Prep. Pastelaria	4,49	7,54	3,00	33,85	101,56	12	7,40
	Casa Máquinas	10,00	10,00	3,00	100,00	300,00	12	18,10
								<b>113,95</b>



## ANEXO H

Balanço térmico da instalação convencional – Expositores frigoríficos:

Tabela 24 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para expositores frigoríficos de congelados

Circuito	Designação	Modelo	Dim.	Tª	Pot. /m	Pot. total	Potência total
			m	°C	kW	kW	kW
Negativos	Mural de Carne Congelada	Coliseum 4 ECO H2.2	3,75	-23°C	0,80	3,00	3,00
	Ilha de Peixe Congelado	AGORA 3 ECO	3,75	-23°C	0,40	1,50	5,00
			3,75	-23°C	0,40	1,50	
			2,50	-23°C	0,40	1,00	
			2,50	-23°C	0,40	1,00	
	Ilha Dupla Congelados I	COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,74	1,50	7,97
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,74	1,85	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,74	1,85	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,74	2,78	
	Ilha Dupla Congelados I	COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,74	2,78	7,05
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,74	2,78	
		COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,74	1,50	
	Ilha Dupla Congelados II	COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,74	1,50	7,97
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,74	1,85	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	2,50	-23°C	0,74	1,85	
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,74	2,78	
	Ilha Dupla Congelados II	COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,74	2,78	7,05
		COSMOS 4 ECO 1 EV	3,75	-23°C	0,74	2,78	
		COSMOS 4 ECO 1 EV TG	2,03	-23°C	0,74	1,50	
	Mural Congelados	AMPLEO	1,56	-23°C	0,74	1,15	6,88
		AMPLEO	3,90	-23°C	0,74	2,87	
		AMPLEO	3,90	-23°C	0,74	2,87	
	Mural Carne Congelada	AMPLEO	3,90	-23°C	0,74	2,87	7,45
		AMPLEO	2,34	-23°C	0,74	1,72	
		AMPLEO	2,34	-23°C	0,74	1,72	
		AMPLEO	1,56	-23°C	0,74	1,15	
							52,38

Tabela 25 - Instalação frigorífica convencional – Balanço térmico para expositores frigoríficos de refrigerados

**Balanço térmico expositores refrigerados**

Circuito	Designação	Modelo	Dim.	T <sup>a</sup>	Pot./m	Pot. total	Potência total
			m	°C	kW	kW	kW
Pos.	Mural de Talho LS	PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	1,69	6,34	38,03
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	1,69	6,34	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	1,69	6,34	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	1,69	6,34	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	1,69	6,34	
		PROXIMA MODULAR ECO	3,75	0°C	1,69	6,34	
	Vitrine de Talho ST	VHF-T-AT	2,50	0°C	0,50	1,25	4,38
		VHF-T-AT	2,50	0°C	0,50	1,25	
		VHF-T-AT	3,75	0°C	0,50	1,88	
	Mural Bacalhau Embalado	MCC ASG	1,30	4°C	1,10	1,43	1,43
	Semi Mural Pastelaria	SMFF-H1,2-A1-LS-C	3,75	2°C	1,10	4,13	4,13
	Vitrine Pastelaria ST	VHF-PT-A1-AT	3,13	2°C	0,40	1,25	2,50
			3,13	2°C	0,40	1,25	
	Mural Especialidades FL	PROXIMA VOLUM ID	1,88	4°C	1,50	2,81	25,31
			3,75	4°C	1,50	5,63	
			3,75	4°C	1,50	5,63	
			3,75	4°C	1,50	5,63	
			3,75	4°C	1,50	5,63	
	Vitrine Take Out	VHF-TAKE-OUT-AT	1,88	4°C	0,40	0,75	1,74
			0,97	4°C	0,40	0,39	
			1,50	4°C	0,40	0,60	
	Semi Mural Charcutaria I e II	SMHF-T-H13-LS-P	1,90	2°C	1,10	2,09	41,36
			3,75	2°C	1,10	4,13	
			3,75	2°C	1,10	4,13	
			1,90	2°C	1,10	2,09	
			3,75	2°C	1,10	4,13	
			3,75	2°C	1,10	4,13	
			1,90	2°C	1,10	2,09	
			3,75	2°C	1,10	4,13	
			3,75	2°C	1,10	4,13	
			1,90	2°C	1,10	2,09	

		3,75	2°C	1,10	4,13	
		3,75	2°C	1,10	4,13	
Semi Mural Soluções Refeição I	SMHF-T-H13-LS-P	1,90	2°C	1,10	2,09	20,68
		3,75	2°C	1,10	4,13	
		3,75	2°C	1,10	4,13	
		1,90	2°C	1,10	2,09	
		3,75	2°C	1,10	4,13	
		3,75	2°C	1,10	4,13	
Semi Mural Charcutaria	SMHF-T-H13-LS-P	1,90	2°C	1,10	2,09	30,36
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		1,90	2°C	1,10	2,09	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		1,90	2°C	1,10	2,09	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		1,90	2°C	1,10	2,09	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
		2,50	2°C	1,10	2,75	
Vitrine de Charcutaria LS	VHF-CH-LS	2,50	2°C	0,40	1,00	6,10
		3,75	2°C	0,40	1,50	
		3,75	2°C	0,40	1,50	
		3,75	2°C	0,40	1,50	
		1,50	2°C	0,40	0,60	
Vitrine de Charcutaria ST	VHF-CH-AT	2,50	2°C	0,40	1,00	1,81
		2,02	2°C	0,40	0,81	
Vitrine de Charcutaria LS	VHF-CH-LS	1,25	2°C	0,40	0,50	0,86
		0,90	2°C	0,40	0,36	
Mural de Margarinas	PROXIMA MODULAR RD	1,88	2°C	1,51	2,83	24,54
		3,75	2°C	1,51	5,66	
		3,75	2°C	1,51	5,66	
		3,75	2°C	1,51	5,66	
		1,88	2°C	1,51	2,83	
		1,25	2°C	1,51	1,89	
Vitrine de Take Away	VHF-CH-AT	1,25	2°C	0,40	0,50	2,06
		2,02	2°C	0,40	0,81	
		1,88	2°C	0,40	0,75	

Estudo comparativo entre os consumos energéticos de uma Instalação de refrigeração convencional e uma instalação de refrigeração verde

	Retrobalcão de Charcutaria	RTC - SLIM	3,75	2ºC	1,56	5,85	5,85			
	Mural de logurtes I	PROXIMA MODULAR RD	1,88	2ºC	1,51	2,83	60,40			
			1,88	2ºC	1,51	2,83				
			2,50	2ºC	1,51	3,78				
			2,50	2ºC	1,51	3,78				
			3,75	2ºC	1,51	5,66				
			3,75	2ºC	1,51	5,66				
			3,75	2ºC	1,51	5,66				
			1,88	2ºC	1,51	2,83				
			3,75	2ºC	1,51	5,66				
			3,75	2ºC	1,51	5,66				
			2,50	2ºC	1,51	3,78				
			2,50	2ºC	1,51	3,78				
			1,88	2ºC	1,51	2,83				
			Mural de logurtes II	PROXIMA MODULAR RD	1,88	2ºC		1,51	2,83	33,03
					1,88	2ºC		1,51	2,83	
	2,50	2ºC			1,51	3,78				
	2,50	2ºC			1,51	3,78				
	3,75	2ºC			1,51	5,66				
	3,75	2ºC			1,51	5,66				
	3,75	2ºC			1,51	5,66				
	1,88	2ºC			1,51	2,83				
							304,55			